

AVALIAÇÃO NUMÉRICA DE MEDIDAS DE REFORÇO NO COMPORTAMENTO DE PAREDES DE TABIQUE À COMPRESSÃO E AO CORTE

MANUEL ALEXANDRE PINHO FERNANDES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

Orientador: Professor Doutor João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais

Se tiveres um plano, nunca terás uma aventura

Desconhecido

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecer aos meus pais pela oportunidade que sei que eles não tiveram e a paciência durante todos estes anos.

Ao meu orientador, Professor Doutor João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes pelo seu largo conhecimento na área, pelos conselhos e pela sua boa disposição e orientação ao longo de todo o semestre.

Às colegas Andreia Rebelo e Mafalda Amorim cujas dissertações foram realizadas nos anos transatos e eu tive o prazer de continuar e a quem elas deram tempo, orientação e ajuda com as dúvidas dispostas.

Aos meus amigos, que sempre estiveram presentes em todos os momentos da minha vida pessoal e académica. Um especial agradecimento ao Gonçalo Maia, companheiro desde sempre, Patrícia Queirós, Ricardo Pereira e Daniela Pereira. Mais recentemente, Celestino Alves, Diogo Guimarães, Cátia Pereira, pela ajuda neste último ano.

RESUMO

O edifício antigo, constituído maioritariamente por paredes principais portantes de alvenaria e pavimentos e cobertura em estrutura de madeira, continha na sua grande maioria paredes interiores de tabique embora, nalguns casos, aparecessem também no contorno do edifício como paredes exteriores. De facto, esta técnica era normalmente usada para construir paredes divisórias dentro da habitação, assumindo, frequentemente, funções não estruturais. Esta dissertação visa a análise do comportamento destas paredes e o estudo de medidas de reforço estrutural, realçando o potencial das paredes de tabique para funcionarem como elementos portantes, evitando a sua substituição, ou mesmo demolição durante a realização de obras de reabilitação.

O trabalho inicia-se com uma breve descrição sobre o estado do país relativamente à reabilitação do edifício, seguindo-se a descrição das várias ações sequenciais necessárias à realização de intervenções de reabilitação devidamente sustentadas. Num qualquer processo de reabilitação, resulta indispensável o conhecimento dos materiais e, sendo este um ponto fundamental, faz-se uma breve apresentação do material principal de qualquer parede de tabique, a madeira, identificando-se as suas principais características. Seguidamente são caracterizadas as paredes de tabique existentes nas construções antigas, em particular nas tipologias mais presentes nas edificações da cidade do Porto. As paredes de tabique são depois modeladas numericamente utilizando o programa de cálculo estrutural SAP2000 [3], sendo os resultados comparados com os retirados de ensaios laboratoriais à compressão simples e ao corte sob compressão constante realizados anteriormente por Andreia Rebelo [1] e Mafalda Amorim [2], respetivamente.

Finalmente, escolheram-se duas medidas de reforço estrutural: argamassa com diferentes módulos de elasticidade e pregagem de fitas metálicas perfuradas sobre as tábuas do tabique, efetuou-se a sua modelação numérica no programa de cálculo estrutural SAP2000 e analisou-se o incremento de resistência à compressão axial e de rigidez horizontal no plano em relação às paredes sem qualquer tipo de medida de reforço.

PALAVRAS-CHAVE: REABILITAÇÃO, PAREDES DE TABIQUE, SAP2000, COMPRESSÃO AXIAL, CORTE, REFORÇO ESTRUTURAL

ABSTRACT

The old buildings, consisting mainly of main walls with masonry and pavements and wooden structure cover, mostly had interior partition walls, although in some cases were also present in the outline of the building as external walls. In fact, this technique was commonly used to construct partition walls within the building, often assuming non-structural functions. This dissertation aims the analysing of the behaviour of these walls and the study of structural reinforcement measures, highlighting the potential of partition walls to function as supporting elements, avoiding their replacement or even demolition during rehabilitation works.

The work begins with a brief description of the state of the country in relation to rehabilitation of the buildings, followed by a description of the various sequential actions required to carry out rehabilitation interventions that are duly sustained. In any rehabilitation process, knowledge of the materials is indispensable. As a fundamental point, a brief presentation of the wood, the main material of any partition wall, is made, identifying its main characteristics. Next, the existing partition walls in the old buildings are characterized, in particular in the more present typologies in the buildings of the city of Porto. The partition walls are then numerically modelled using the SAP2000 [3] structural calculation program and the results are compared to those obtained from laboratory tests for simple compression and cut under constant compression previously performed by Andreia Rebelo [1] and Mafalda Amorim [2], respectively.

Finally, two structural reinforcement measures were selected: mortar with different elastic modulus and nailing of perforated metal strips on the wooden boards, its numerical modelling was carried out in the SAP2000 structural calculation program and the increase in resistance to axial compression and horizontal stiffness in the scheme with respect to the walls without any type of reinforcement measure was analysed.

KEYWORDS: REHABILITATION, PARTITION WALLS, AXIAL COMPRESSION, SHEAR STRENGHT, STRUCTURAL REINFORCEMENT

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1 Introdução	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO.....	1
1.2. BASES DO TRABALHO	1
1.3. METODOLOGIA DO TRABALHO.....	2
1.4. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2 Estado da Arte	3
2.1. OBJETIVOS.....	3
2.2. REABILITAÇÃO	3
2.2.1. PRINCÍPIOS DA REABILITAÇÃO [7]	3
2.3. MADEIRA, O MATERIAL.....	4
2.3.1. CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA	4
2.3.1.1. Direções anatómicas [6]	4
2.3.1.2. Relação Madeira-Água [6]	5
2.3.1.3. Alburno e Cerne	5
2.3.1.4. Biodegradação, Durabilidade e Preservação [6].....	6
2.3.1.5. Defeitos/Desvantagens e Vantagens [10, 11].....	7
2.4. PAREDES DE TABIQUE	9
2.4.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	9
2.4.2. TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS	9
2.5. PAREDES DE TABIQUE PRESENTES NO PORTO	10
2.5.1. A CASA BURGUESA DO PORTO.....	10
3 Avaliação/Descrição do modelo experimental e análise de resultados dos ensaios experimentais	13
3.1. OBJETIVOS.....	13
3.2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO MODELO NUMÉRICO.....	13
3.2.1. MODELOS ESTUDADOS	13

3.3. ESTUDO DO FENÓMENO DE ENCURVADURA	15
3.3.1. CÁLCULO TEÓRICO DA CARGA CRÍTICA DE ENCURVADURA.....	15
3.3.2. CÁLCULO DO MODO DE ENCURVADURA A PARTIR DO SOFTWARE SAP2000.....	16
3.4. ENSAIOS REALIZADOS.....	18
3.5. COMPORTAMENTO DEVIDO ÀS AÇÕES HORIZONTAIS (CORTE).....	22
 4 Medidas de Reforço das Paredes de Tabique.....	 25
4.1. OBJETIVOS.....	25
4.2. MEDIDAS DE REFORÇO DE PAREDES DE TABIQUE.....	25
4.2.1. MEDIDAS DE REFORÇO DA PAREDE DE TABIQUE À COMPRESSÃO	25
4.2.1.1. Uso de argamassa	26
4.2.1.2. Fitas metálicas furadas como reforço.....	31
4.2.2. MEDIDAS DE REFORÇO DA PAREDE DE TABIQUE AO CORTE	35
 5 Conclusão e Trabalhos Futuros	 41
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
 Bibliografia.....	 43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Direções anatómicas da madeira (Adaptado de [6]).....	5
Figura 2 - Cerne e alborno [20].....	6
Figura 3 - Anéis de crescimento [20]	6
Figura 4 - Exemplo de defeitos na madeira: nós e direção das fibras [21]	8
Figura 5 - Exemplo de defeito na madeira: fissuras [10].....	8
Figura 6 – Parede de tabique simples (à esquerda) e parede de tabique duplo (à direita) [1].....	10
Figura 7 - Recuado em parede de tabique na Baixa do Porto [22]	11
Figura 8 - Parede de tabique simples	14
Figura 9 - Parede de tabique duplo	15
Figura 10 – Parede de tabique simples (PTS) e respetivo fator e modo de encurvadura	17
Figura 11 - Parede de tabique duplo (PTD) e respetivo fator e modo de encurvadura.....	17
Figura 12 - Ensaio Monotónico PTS [1]	18
Figura 13 - Ensaio Cíclico PTS [1].....	19
Figura 14 - Condições de apoio consideradas no cálculo da carga crítica [15].....	19
Figura 15 - Ensaio PTS - CS e PTS – CM [1]	20
Figura 16 - Ensaio Monotónico PTD [1].....	21
Figura 17 - Ensaio Cíclico PTD [1].....	21
Figura 18 - Ensaio PTS - CS e PTS – CM [1]	22
Figura 19 - Deformada por ação horizontal: a) Modelo Simples; b) Modelo Duplo [1].....	24
Figura 20 – Cortes horizontais representativos da realidade (à esquerda) e do programa de cálculo (à direita)	27
Figura 21 - Cortes horizontais representativos da realidade (à esquerda) e do programa de cálculo (à direita)	28
Figura 22 - Fitas metálicas furadas ROTHOBLAAS [19]	31
Figura 23 – Fitas metálicas numa PTS com disposição em “” e em “X”	32
Figura 24 - Deformada por ação horizontal: a) Modelo Simples; b) Modelo Duplo [1].....	35
Figura 25 - Deformada da PTS sem argamassa: com fita metálica perfurada (à direita); sem fita metálica perfurada (à esquerda) [1].....	36
Figura 26 - Valores da rigidez horizontal para a PTS, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior	37
Figura 27 - Valores da rigidez horizontal para a PTS, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior	37
Figura 28 - Valores da rigidez horizontal para a PTS, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior	38

Figura 29 - Valores da rigidez horizontal para a PTS, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior38

Figura 30 – Valores da rigidez horizontal para a PTD, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior39

Figura 31 - Valores da rigidez horizontal para a PTD, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior39

Figura 32 - Valores da rigidez horizontal para a PTD, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior40

Figura 33 - Valores da rigidez horizontal para a PTD, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cargas críticas obtidas experimental e numericamente (PTS).....	20
Tabela 2 - Cargas críticas obtidas experimental e numericamente (PTD)	22
Tabela 3 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa de $E = 1\text{GPa}$	28
Tabela 4 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa de $E = 2\text{GPa}$	29
Tabela 5 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa $E = 3\text{GPa}$	29
Tabela 6 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa $E = 4\text{GPa}$	30
Tabela 7 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa $E = 10\text{GPa}$	30
Tabela 8 - Códigos e dimensões das fitas metálicas.....	33
Tabela 9 - Espessuras equivalentes das fitas metálicas	33
Tabela 10 – Cálculo da carga crítica para a PTD com fitas metálicas perfuradas.....	34
Tabela 11 – Cálculo da carga crítica para a PTS com fitas metálicas perfuradas	34

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

A necessidade que temos hoje em dia de preservarmos o que é nosso, levantou uma série de questões em relação à intervenção e manutenção do património cultural e histórico, levando a que cada vez mais se fale de reabilitação. A reabilitação, em particular quando associada à manutenção/ preservação dos bens edificados, deverá ter como objetivo o máximo reaproveitamento dos materiais existentes nos através de ações mais ou menos conservativas, dependentes do estado em que se encontram esses materiais.

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo sensibilizar as pessoas para o interesse de um dos elementos mais desvalorizados no que toca à reabilitação de edifícios antigos: a parede de tabique. Este elemento, que durante muito tempo se julgou ser apenas um elemento de compartimentação, é muito mais que isso; é um elemento com boa capacidade resistente no seu plano (na vertical e horizontal), funcionando como elemento portante vertical e de contraventamento horizontal. O facto de existir pouca informação em relação à capacidade portante e comportamento destes elementos, torna difícil qualquer tomada de decisão por parte do interventor: se manter, reforçar ou substituir.

Deste modo, esta dissertação analisa o comportamento de algumas tipologias de paredes de tabique presentes na Casa Burguesa do Porto – parede de tabique simples e duplo – e propostas de medidas de reforço, tendo por base modelos numéricos.

1.2. BASES DO TRABALHO

O trabalho realizado teve por base, maioritariamente, as teses de mestrado desenvolvidas por Andreia Rebelo [1], Mafalda Amorim [2] e André Pires [4], embora apoiando-se nos resultados de outras teses de mestrado e em teses de doutoramento e artigos, nomeadamente no trabalho de Joaquim Teixeira [5] na caracterização da Casa Burguesa do Porto. A análise terá como ponto de partida os resultados obtidos em ensaios experimentais à compressão simples e ao corte no plano sob compressão constante realizados pelo Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) por Andreia Rebelo [1] e Mafalda Amorim [2], respetivamente. No que toca à modelação numérica em SAP2000 das paredes de tabique, foram utilizados modelos numéricos de André Pires [4], melhorados posteriormente por Andreia Rebelo [1].

1.3. METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia associada à execução deste trabalho contém as seguintes tarefas:

- Revisão bibliográfica referente ao tema reabilitação e também das paredes de tabique;
- Verificação da modelação numérica realizada por André Pires [4] e Andreia Rebelo [1];
- Análise dos resultados da campanha de ensaios experimentais;
- Proposta de medidas de reforço;
- Simulação numérica de medidas de reforço nas paredes de tabique.

1.4. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos, sendo que neste primeiro é feito um enquadramento geral do trabalho realizado.

No capítulo 2, faz-se um breve enquadramento ao tema da reabilitação e os seus princípios, dá-se a conhecer as características principais do material madeira e posteriormente introduz-se o tema *paredes de tabique* e como estas se apresentam na Casa Burguesa do Porto.

No capítulo 3 é feita uma breve descrição dos modelos numéricos das paredes de tabique realizados por André Pires [4] e melhorados por Andreia Rebelo [1] no programa de cálculo de elementos finitos SAP2000. Descreve-se sumariamente o fenómeno de encurvadura, e compara-se os valores numéricos da carga crítica e da rigidez ao corte no plano das paredes de tabique obtidos através do programa com os valores obtidos experimentalmente, calibrando-se os modelos.

O capítulo 4 enumera algumas medidas de reforço e simula-as numericamente para mais tarde comparar com os valores das paredes de tabique sem reforço e concluir se estas medidas são ou não eficazes no que toca ao aumento da carga crítica e da rigidez horizontal no plano das paredes.

Por último, no capítulo 5, apresentam-se as conclusões obtidas e proposta de trabalhos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. OBJETIVOS

Este capítulo tem como objetivos:

- Introduzir o conceito de reabilitação e dos seus princípios;
- Dar a conhecer, de forma sumária, as características da madeira como material de construção;
- Enquadrar as Paredes de Tabique na construção antiga.

2.2. REABILITAÇÃO

Nas últimas décadas, o abandono da população para as periferias das cidades teve como consequência a degradação dos centros históricos. O crescimento do turismo em Portugal foi um marco importante para a valorização do património edificado, tendo, para tal, sido criadas estratégias de renovação (reabilitação) deste património. Esta questão, para além de ser económica, é também social e cultural. Em particular, a necessidade de reabilitação trouxe um forte investimento nesta área.

Na realidade, a reabilitação decorre de uma necessidade, embora em Portugal tenha resultado de uma consciencialização tardia. Ultimamente, reabilitação tem sido a palavra que mais se tem vendido no mercado imobiliário e da construção Português, mas nem sempre associada ao seu verdadeiro significado.

Porquê? A reabilitação tem como perspetiva a reposição das condições de segurança e funcionalidade de um edifício, maximizando o aproveitamento dos materiais pré-existentes. Hoje em dia, um grande número de pessoas tem uma ideia errada de reabilitação. O que muitas empresas de construção civil fazem, promovido por donos de obra e/ ou gabinetes técnicos, não é reabilitação, mas sim construção nova, nomeadamente promovem a destruição completa do interior do edifício, deixando apenas as fachadas – procedimento vulgarmente conhecido por “fachadismo”.

2.2.1. PRINCÍPIOS DA REABILITAÇÃO [6]

Um processo de reabilitação deve começar com a escolha de uma equipa multidisciplinar, que deve trabalhar em conjunto desde o início, de acordo com o tipo de problema. Depois de selecionada a equipa, é feita uma inspeção ao local para determinar os danos e degradações da estrutura – esta visita pode desmultiplicar-se em várias, pois caso haja dúvidas, visita-se novamente o local.

Normalmente, antes desta inspeção ao local e, caso seja possível, deve-se consultar o seu projeto inicial e verificar se ao longo dos anos houve alguma alteração na estrutura. Estes documentos podem ser encontrados em câmaras municipais e juntas de freguesia, por exemplo. Esta fase é importante para determinar se a estrutura está de acordo com o projeto e possíveis alterações, nomeadamente para

determinar que materiais a constituem e as suas características, para saber que técnicas foram usadas na sua construção e detetar problemas.

Posteriormente, elabora-se um diagnóstico da situação. Este diagnóstico é apoiado na informação histórica recolhida e em abordagens qualitativas e quantitativas. Inclui visitas ao local para observar e registar os danos da estrutura e a degradação dos materiais, assim como medir e ensaiar as estruturas e os materiais.

Antes de tomar qualquer decisão sobre a possível intervenção, é indispensável fazer uma avaliação da segurança da estrutura, isto é, avaliar as causas dos danos e degradações da estrutura e dos materiais. Depois desta etapa, cabe aos técnicos decidir qual a melhor solução de intervenção a realizar consonante com avaliação de segurança e as análises qualitativa e quantitativas realizadas.

Toda a informação atrás mencionada deve estar devidamente explicada num Relatório de Avaliação.

Toda a intervenção de reabilitação deve tendencialmente ser:

- Reversível; a intervenção que se faz hoje, pode ser substituída amanhã caso apareça uma solução mais viável, melhor adaptada;
- Não intrusiva; minimizar o impacto na estrutura e em estruturas adjacentes;
- Repetível; caso a intervenção esteja a perder a sua eficácia – de resistência, por exemplo – deve poder ser retirada e substituída por uma de igual valor.

2.3. MADEIRA, O MATERIAL

Só no século XX, é que foram introduzidas de forma generalizada as construções em betão armado. Geralmente, em particular nos centros históricos, o edificado mais antigo é provido, essencialmente, de estruturas em madeira e alvenaria, sendo por isso necessário conhecer estes materiais, saber como se comportam, para determinar as melhores medidas a adotar para o seu reforço, ou reabilitação, dependendo do estado em que se encontram.

O objeto de estudo desta dissertação é a parede de tabique que tem como material estrutural principal a madeira, cuja durabilidade está intimamente ligada à sua natureza biodegradável. Isto não significa que as estruturas de madeira são menos duráveis do que aquelas construídas utilizando outros materiais.

O tronco de madeira tem a função de suportar a copa, estando submetido a cargas axiais e flexão. Por essa razão, a madeira tem uma direção de maior resistência e rigidez que é a longitudinal ao tronco, exibindo um comportamento anisotrópico notável (característica de um material que tem propriedades físicas que variam de acordo com a direção da solicitação); portanto, as propriedades mecânicas são significativamente diferentes em diferentes direções anatómicas. A madeira é também um material higroscópico (propriedade que certos materiais possuem de absorver água), ou seja, a alteração da humidade na madeira faz com que hajam alterações dimensionais que devem ser considerados no projeto da estrutura; é preciso ter noção que a madeira está em constante movimento. [7]

2.3.1. CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

2.3.1.1. Direções anatómicas [7]

Num tronco de madeira pode-se identificar três direções anatómicas, como podemos ver na Figura 1:

- O eixo longitudinal do tronco, que corresponde geralmente à orientação das células;
- E as direções radial e tangencial, onde são referidos os anéis de crescimento anuais.

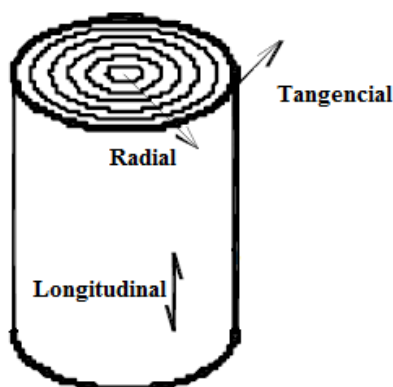


Figura 1 - Direções anatómicas da madeira (Adaptado de [7])

2.3.1.2. Relação Madeira-Água [7]

Sendo a madeira formada por células ocas e alongadas, estas podem conter água em várias formas;

- água de saturação – é aquela que banha as paredes celulares; humidade superior a 0%;
- água livre - é aquela contida nas paredes celulares, humidade acima de 30%;

No momento do abatimento, o teor de humidade na madeira tem um valor muito superior a 30%, mas após o processo de cura, a madeira perde humidade até um valor variável segundo o ambiente em que está localizada [7]:

- $U < 12\%$ - no interior, aquecido no inverno;
- $12\% < U < 20\%$ - no inverno em ambientes fechados e sem aquecimento e em ambiente exterior, mas sem cobertura;
- $U > 20\%$ - ao ar livre, sem proteção contra as intempéries;

U – humidade

Após a perda de humidade, a madeira sofre diminuição de tamanho (contração); este fenómeno é reversível e, por conseguinte, o aumento da humidade na madeira dá origem ao aumento no tamanho (expansão). Isso só acontece quando o nível de humidade é compreendida entre 0% e 30%.

A perda de humidade na madeira tem como consequência uma distorção da secção, sendo que diferentes secções apresentam diferentes distorções. Estas distorções dão origem a fissuras transversais à secção. Estas fissuras, principais ou secundárias, diminuem a resistência ao corte da estrutura; no dimensionamento da estrutura, é preciso ter em conta estes defeitos.

2.3.1.3. Alborno e Cerne

A estrutura interna de uma árvore (cerne e alborno) é uma questão bastante importante relativamente à escolha da espécie lenhosa para a construção em madeira, por isto, é necessário conhecer as diferentes zonas florestais para entender qual a melhor espécie a usar, quando a melhor altura para a cortar e em que ambiente usar.

O tronco é constituído por duas zonas distintas: o cerne e o alburno, como se observa na Figura 2. O cerne é a parte do tronco constituído por células mortas e inativas devida à ausência de água e à acumulação de compostos orgânicos (exemplo: tanino e resinas), destacando-se também por ter uma cor mais escura que o alburno em consequência às razões mencionadas atrás. Estas células mortas mencionadas acima, formam uma estrutura mais dura, assumindo uma função estrutural, sem qualquer função fisiológica. [8, 9]

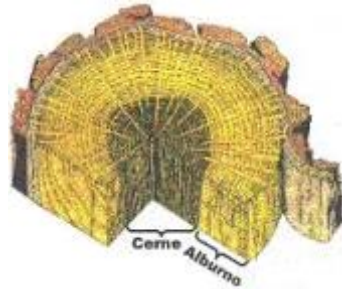


Figura 2 - Cerne e alburno [10]

Ao contrário do cerne, o alburno é constituído por células vivas e ativas e tem uma cor mais clara que o cerne, uma vez que, contém água. No que toca à parte estrutural, é muito menos resistente; é também menos resistente a ataques de insetos. [8, 9]

i. Anéis de Crescimento

Os anéis de crescimento, Figura 3, representam o crescimento da árvore. A cada ano que passa, para além do tronco crescer em altura, cresce também em largura, aumentando um anel todos os anos. Este crescimento difere muito com a altura do ano, sendo que na primavera as células que nascem são mais largas e com paredes finas, resultando em madeira menos resistentes e mais permeável e nas restantes estações do ano acontece precisamente o contrário, sendo as células mais pequenas e mais espessas, dando origem a madeira menos permeável e mais resistente. [8, 9]



Figura 3 - Anéis de crescimento [10]

2.3.1.4. Biodegradação, Durabilidade e Preservação [7]

A madeira, como material natural que é, tem a vantagem de ser um material totalmente biodegradável, mas tal não significa que se irá degradar ao longo do tempo. Esta degradação dá-se através de agentes

bióticos, como por exemplo os fungos e os insetos xilófagos. Estes agentes bióticos apenas atacam sob determinadas condições de humidade e temperatura; a espécie de madeira também determina uma maior ou menor resistência ao ataque destes agentes, causando uma degradação mais ou menos lenta.

O facto de a madeira se deteriorar não é por culpa da mesma, mas sim do projetista e a escolha da espécie de madeira para o ambiente em que a madeira vai ficar inserida; a madeira tem de ser tratada consoante o ambiente em questão. A madeira não sofre qualquer degradação através das características mecânicas, mas apenas com o passar do tempo.

Do ponto de vista da durabilidade, não faz diferença a madeira ser maciça ou laminada; a madeira laminada, por ter cola a unir as respetivas lâminas, apenas é um pouco menos suscetível a ataques de insetos xilófagos.

ii. Agentes Bióticos – Fungos [7]

O ataque de fungos é proveniente da humidade a que a madeira está sujeita; se a madeira estiver num ambiente com humidade igual ou superior a 20%, este agente biótico vai dar início à degradação da mesma; caso a humidade baixe do valor supramencionado, o agente biótico interrompe assim a sua atividade, mas nunca na totalidade, pois se a humidade voltar aos valores “ótimos”, estes recomeçam. Os danos provocados, a maior parte das vezes, não é visível, isto porque, a degradação dá-se no interior da madeira; isto é perigoso, uma vez que, resulta numa perda grande de capacidade resistente na madeira.

As peças propícias ao ataque de fungos são peças juntas a paredes, por várias razões:

- As peças não são ventiladas;
- As paredes favorecem a permanência de condições húmidas;
- A própria humidade da madeira que condensa como consequência da parede fria.

iii. Agentes Bióticos – Insetos Xilófagos [7]

Os insetos xilófagos são os insetos que se alimentam da madeira, ao contrário dos fungos que apodrecem a mesma. Estes insetos têm um ciclo de vida que começa a partir do inseto adulto (borboleta) que desova nas pequenas cavidades da madeira; o ovo choca e dá vida à larva que penetra na madeira, comendo-a; o ciclo volta ao início quando estas larvas atingem o estado adulto. Estes insetos apenas atacam a área do tronco mais rica em amidos e açúcares, o alburno (exterior do tronco).

Como nos fungos, aparentemente a madeira não aparenta ter qualquer tipo de problema, embora por dentro esteja cheia de orifícios que vão retirar capacidade resistente à madeira, causando graves problemas de estabilidade.

2.3.1.5. Defeitos/Desvantagens e Vantagens [11, 12]

A madeira, tal como muitos materiais, apresenta defeitos (irregularidades ou imperfeições) que podem afetar e diminuir a sua capacidade resistente. São considerados defeitos tudo o que comprometa as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Dentro de inúmeros defeitos enumeram-se os mais relevantes, aqueles que põem em causa a capacidade resistente da madeira:

- Nós (dando origem a bifurcações) – Figura 4 – ou seja, defeito no crescimento do tronco, criando singularidades na madeira, originando fissuras;
- Madeira rachada/fendilhada (fissurada), Figura 5;
- Desvio na direção das fibras, Figura 4;
- Está sujeita a ataques por agentes bióticos;
- Pouca resistência ao fogo;

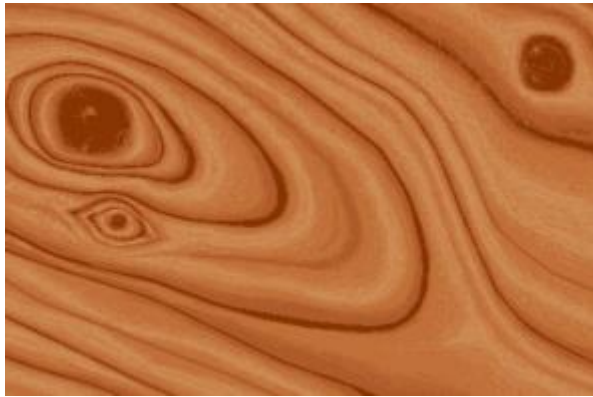


Figura 4 - Exemplo de defeitos na madeira: nós e direção das fibras [13]



Figura 5 - Exemplo de defeito na madeira: fissuras [11]

Apesar de ter as suas desvantagens, também apresenta algumas vantagens:

- Baixo custo de produção, por ser um material natural;
- Material sustentável;
- Material fácil de manusear;
- Durável;
- Elevada resistência (nomeadamente à tração);
- Bom isolante térmico e acústico.

2.4. PAREDES DE TABIQUE

Neste subcapítulo é realizado um enquadramento às paredes de tabique quanto às suas características principais, sistema construtivo e respetivas tipologias construtivas.

2.4.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

A espécie de madeira normalmente usada nas paredes de tabique abordadas nesta dissertação - que são as paredes de tabique da casa burguesa do Porto - é o pinho nacional (*Pinus pinaster* Ait.), por vezes também se encontra o castanho (*Castanea sativa* Mill.) e em casas mais nobres ainda aparece o carvalho (*Quercus faginea* Lam.). Sendo um material natural e fácil de trabalhar, o tabique era uma técnica muito versátil, isto é, a técnica era usada em diferentes elementos construtivos, tetos, claraboias, paredes interiores e exteriores e de caixa de escadas [4].

Na Casa Burguesa do Porto as paredes interiores de tabique são normalmente paredes de compartimentação, não tendo função estrutural. No entanto, como estes elementos estão ligados a outros elementos construtivos, acabam por ter um contributo importante para a estabilidade do edifício, funcionando como elementos de suporte e contraventamento [1 – 5]. Estas paredes eram por vezes executadas na fase de acabamentos, quando a habitação já estava assoalhada [4]. As paredes exteriores, ao contrário das paredes interiores, já assumem um papel estrutural: "têm como função fechar o edifício" [1,5], assumindo um papel estrutural, pois recebem cargas verticais provenientes da cobertura e cargas horizontais provocadas pelo vento [1,5]. Este tipo de paredes exteriores encontra-se vulgarmente nos pisos superiores, uma vez que o contacto com o terreno poderia originar uma degradação mais rápida e acentuada [2].

2.4.2. TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS

O tabique presente nas paredes da casa burguesa do Porto é geralmente de duas tipologias: tabique simples e tabique duplo. Como se pode ver na Figura 6 – Parede de tabique simples (à esquerda) e parede de tabique duplo (à direita), o tabique simples apresenta apenas tábuas costaneiras verticais e o tabique duplo um conjunto de tábuas verticais e diagonais, formando diferentes padrões. Nos dois casos, as tábuas são colocadas lado a lado, com um determinado espaçamento que depois é preenchido por material terroso, ou diretamente pela argamassa de cal do reboco [4]. Sendo estas paredes construídas em fase de acabamentos e apoiando-se diretamente no soalho, apresentam diferentes soluções construtivas: (i) sem frechal, (ii) com frechal, melhorando o desempenho, onde as tábuas são pregadas ao frechal e este pregado ao soalho e (iii) remate da parede com rodapé duplo, um em cada face da parede, funcionando estes como frechal. Na ligação com os pisos superiores, as paredes podem ser: (i) diretamente pregadas às vigas, funcionando estas como frechal, (ii) em alguns casos é criado um frechal no topo ou (iii) o topo das tábuas remata simplesmente sem qualquer frechal como já foi referido na ligação das paredes ao soalho [1,4]. A ligação destas tábuas é feita através de ripas trapezoidais pregadas na horizontal, normalmente designadas por fasquio [4].



Figura 6 – Parede de tabique simples (à esquerda) e parede de tabique duplo (à direita) [1]

2.5. PAREDES DE TABIQUE PRESENTES NO PORTO

2.5.1. A CASA BURGUESA DO PORTO

A típica Casa Burguesa do Porto distingue-se por ser alta e esbelta, normalmente com uma largura que não excedia os 4,5 metros, uma profundidade na ordem dos 10 a 15 metros e tipicamente com três a quatro pisos, podendo algumas ter cinco ou seis [1 – 3]. Dependendo da largura, permitiam duas a três janelas ou até mesmo portas no alçado principal [2].

No entanto, na cidade do Porto existem dois tipos de casas: as mencionadas em cima, altas, esbeltas e que se estendem em profundidade, e as casas largas e baixas. Estas últimas, ao contrário da típica casa burguesa, são normalmente casas nobres, de quem tinha posses avultadas e o demonstrava através da amplitude do espaço [2]. Isto mostra bem a diferença existente na altura entre classe média-baixa – já dizia Ernesto Oliveira e Fernando Gallano [14], "a casa que nada recomenda especialmente, mas que afinal é uma das expressões mais típicas do Porto, que tem o seu estilo próprio e a sua tradição legítima, e que traduz as condições históricas e político-sociais do velho burgo, a índole e a vida da sua gente" [2, 14] – e classe alta, uma vez que num quarteirão se encontravam duas realidades bem diferentes: encontramos uma quantidade grande de casas populares e burguesas a abrigar múltiplas famílias e, noutro quarteirão, podemos encontrar duas ou três casas nobres, com dimensões e realidades bem diferentes [2].

Indo buscar novamente os estudos de Ernesto Oliveira e Fernando Gallano [14], "(...) a casa estreita e alta, que, na sua forma e sentido originários, além de derivar das construções próprias dos burgos amuralhados ou, de um modo geral, dos locais onde se verifica a necessidade ou a conveniência do adensamento da população em áreas limitadas, constitui um tipo híbrido funcional de residência urbana e estabelecimento comercial ao mesmo tempo, referidos à mesma família, estritamente utilitário (...)" [14]; com isto, quer-se dizer que a Casa Burguesa do Porto era multifacetada (funcional), ou seja,

desempenhavam duas funções ao mesmo tempo: serviam como local de trabalho ou comércio (armazém, lojas, oficinas), situado no rés-do-chão – espaço amplo – com entrada diferente da porta da habitação, e habitação do próprio comerciante e de outros habitantes nos restantes pisos, algumas das vezes, estes últimos eram da família do próprio comerciante [1, 3, 14] . Algumas destas casas apresentavam fachada em alvenaria de pedra do rés do chão até ao último piso e neste existia um recuado, assinalado com um círculo vermelho na Figura 7, com paredes de tabique que recebia a cobertura e apoiava diretamente nas vigas, não estando no alinhamento das paredes de alvenaria. [1]



Figura 7 - Recuado em parede de tabique na Baixa do Porto [15]

3

AVALIAÇÃO/DESCRIÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DE RESULTADOS DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

3.1. OBJETIVOS

Este capítulo tem como objetivos:

- Descrever sumariamente o modelo numérico da parede de Tabique realizado em SAP2000 desenvolvido por André Pires [4] e melhorado por Andreia Rebelo [1];
- Introduzir o fenómeno de encurvadura;
- Verificar a carga de encurvadura obtida nos ensaios experimentais e compará-la com os valores teóricos;
- Analisar o comportamento ao corte das paredes simples e duplo, com e sem argamassa.

3.2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO MODELO NUMÉRICO

Este trabalho vem na continuação de dissertações feitas em anos anteriores, nomeadamente por: (i) André Pires [4], que criou os primeiros modelos de paredes de tabique alvo deste estudo em SAP2000 [3] para o estudo da análise da carga crítica de encurvadura e de algumas propostas de medidas de reforço estrutural, (ii) Andreia Rebelo [1], que melhorou e calibrou os modelos realizados por André Pires [4] e realizou ensaios experimentais de compressão simples em paredes de tabique simples e de tabique duplo, tendo comparado os resultados com os valores numéricos obtidos no programa de cálculo automático, e (iii) Mafalda Amorim [2], que teve como base o trabalho numérico desenvolvido também por Andreia Rebelo [1], e realizou ensaios experimentais de corte no plano com compressão constante em paredes de tabique simples e de tabique duplo, tendo também comparado os resultados com os valores numéricos obtidos no programa de cálculo automático.

Antes de continuar o trabalho realizado por Andreia Rebelo [1], foi realizada uma verificação geral de todos os modelos no que toca ao número de barras correspondentes às tábuas das paredes, secções, dimensões, inércias, materiais e ligações existentes, tanto no topo como na base, e ainda nas ligações dos pregos às tábuas. Depois desta verificação, avançou-se para a determinação do modo de encurvadura através de uma análise “*buckling*” em SAP2000.

3.2.1. MODELOS ESTUDADOS

Os modelos estudados pretendem simular duas tipologias de paredes de tabique existentes na Casa Burguesa do Porto.

As próximas Figura 8 e Figura 9 foram retiradas da dissertação da Andreia Rebelo [1] e ilustram as paredes presentes em laboratório. Para mais informações sobre dimensões e inércias, consultar as dissertações de André Pires [4] e Andreia Rebelo [1].



Figura 8 - Parede de tabique simples



Figura 9 - Parede de tabique duplo

3.2.2. ESTUDO DO FENÓMENO DE ENCURVADURA

O fenómeno de encurvadura ocorre em peças esbeltas, peças que têm uma secção transversal de muito menor dimensão do que o seu comprimento; estas peças, quando submetidas a compressão axial sofrem flexão transversal – encurvadura – sem que o material tenha atingido a sua capacidade resistente. Em condições de fronteira extremas idênticas em todas as direções, esta flexão transversal ocorre segundo o eixo de menor inércia. [1, 16]

3.2.2.1. Cálculo teórico da carga crítica de encurvadura

O cálculo teórico da carga crítica de encurvadura obtém-se a partir de:

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{l^2} \quad (1.1)$$

n – número inteiro variável, associado à ordem do modo de encurvadura ($n=1$)

E – módulo de elasticidade longitudinal

I – momento de inércia da secção em relação ao eixo principal de inércia que mobiliza a direção de menor inércia

l – comprimento de encurvadura

Para além dos valores numéricos obtidos no SAP2000 – que veremos mais à frente – foram determinados os valores teóricos da carga crítica de encurvadura a partir da equação 1.1. Sendo as condições fronteira das paredes de tabique no topo e na base desconhecidas [1], optou-se por realizar intervalos de valores com diferentes comprimentos de encurvadura com o objetivo de os comparar com os resultados numéricos obtidos com o SAP2000 e com os resultados experimentais obtidos nos ensaios laboratoriais. Estes valores teóricos e experimentais não darão exatamente o mesmo resultado, mas o objetivo desta metodologia é encontrar um intervalo de valores teóricos onde consigamos encaixar os respetivos valores experimentais. Mais à frente iremos analisar os resultados obtidos teórica e experimentalmente.

3.2.2.2. Cálculo do Modo de Encurvadura a partir do Software SAP2000

Partindo dos modelos da Andreia Rebelo [1] para se ter uma ideia da capacidade portante de uma parede de tabique à compressão, fez-se uma análise de tipo “Buckling” (encurvadura) para obter o valor do modo de encurvadura para à posteriori calcular a carga para qual a parede vai encurvar. Como está mencionado acima, foi aplicada uma carga vertical, esta com valor de 1 kN/m, distribuída ao longo de todo o frechal superior; a aplicação desta carga facilita a determinação da carga crítica, pois será igual ao fator da carga crítica associado ao modo de encurvadura ativável (correspondente ao menor valor da carga crítica):

$$P_{cr} = M_{enc} \times P_{aplicado} \quad (1.2)$$

P_{cr} – Carga Crítica

M_{enc} – Fator de carga crítica associada ao modo de encurvadura ativável (software SAP2000)

$P_{aplicado}$ – Carga aplicada

Na Figura 10 e Figura 11 mostram-se os modelos de parede de tabique simples e de parede de tabique duplo desenvolvidos no programa SAP2000 e respetivos fatores de encurvadura:

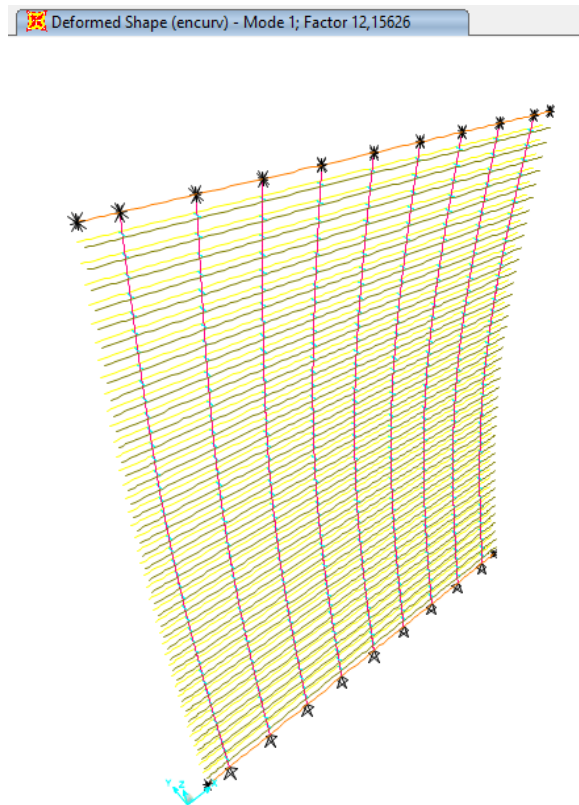


Figura 10 – Parede de tabique simples (PTS) e respetivo fator e modo de encurvadura

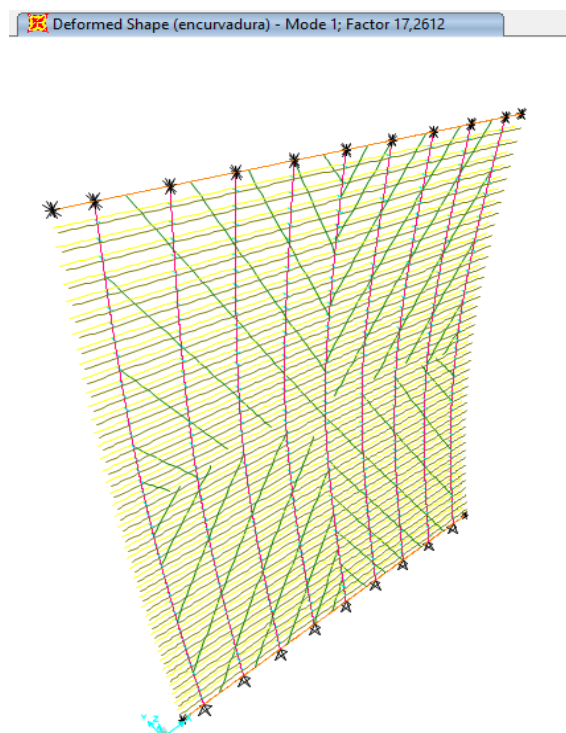


Figura 11 - Parede de tabique duplo (PTD) e respetivo fator e modo de encurvadura

Nestas duas figuras observa-se que os dois modelos construídos em SAP2000 apresentam diferentes fatores de encurvadura, resultado das diferentes características que apresentam, nomeadamente, pelo tabique simples ter apenas uma camada de tábuas com orientação vertical e o tabique duplo ter duas camadas de tábuas, uma com orientação vertical e outra com orientação diagonal.

3.3. ENSAIOS REALIZADOS

De acordo com a dissertação de Andreia Rebelo [1], foram realizados dois tipos de ensaio de compressão simples em paredes de tabique no Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE) da FEUP: ensaio monotónico e ensaio cíclico. O ensaio monotónico consiste em carregar a parede de forma contínua crescente; este ensaio termina quando o declive do gráfico força-deslocamento tende para zero; evitou-se a rotura da parede para possibilitar ensaios futuros [1]. Já o ensaio cíclico consiste em carregar e descarregar a parede por ciclos, começando com ciclos de carga-descarga de 10kN e repetindo, aumentando de cada vez 10kN até a parede instabilizar, ou seja, o declive do gráfico força-deslocamento tender para zero.

A Figura 12 e Figura 13 ilustram o comportamento força-deslocamento dos dois ensaios, monotónico e cíclico respetivamente, realizados na parede de tabique simples.

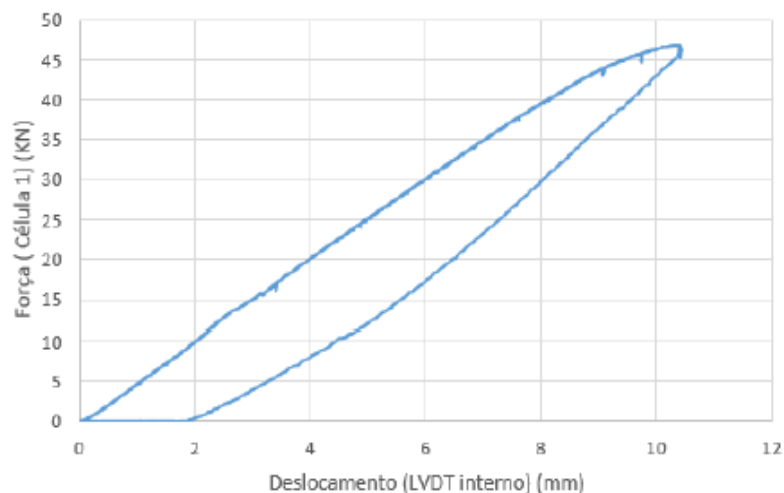


Figura 12 - Ensaio Monotónico PTS [1]

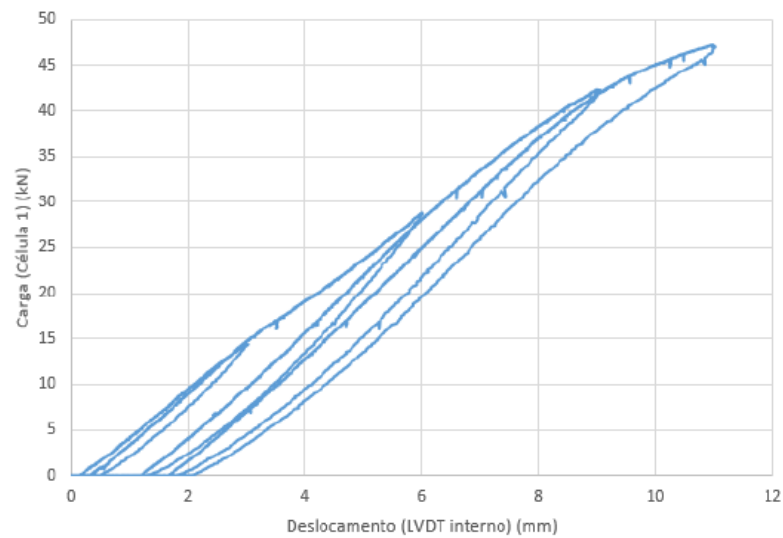


Figura 13 - Ensaio Cíclico PTS [1]

Tendo em conta os valores teóricos e os valores experimentais, constata-se existir uma ligeira diferença de valores, como se afirmou no início do subcapítulo 3.2.2. Esta diferença acontece porque pretende-se simular as condições de apoio do ensaio e que desconhecemos; as condições de apoio estarão entre rotulado em ambas as extremidades ou encastrada na base e rotulado no topo. Na Figura 14 podemos observar as diferentes condições de apoio consideradas numericamente para o cálculo da carga crítica e a Tabela 1 mostra os valores considerando as duas condições de apoio consideradas no software e o correspondente valor experimental:

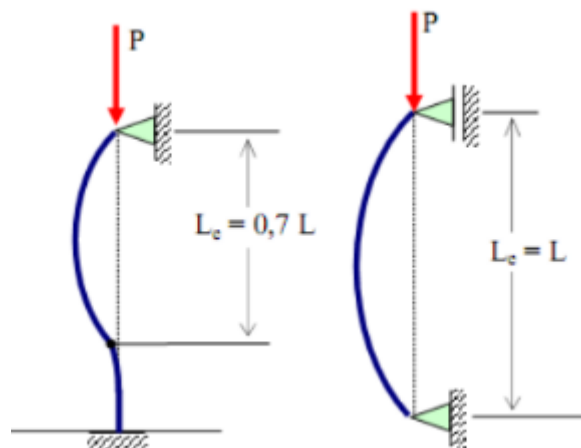


Figura 14 - Condições de apoio consideradas no cálculo da carga crítica [17]

Tabela 1 - Cargas críticas obtidas experimental e numericamente (PTS)

Parede	Análise Numérica		Análise Experimental
	Rotulada no topo e base	Rotulada no topo e encastrada na base	
	Pcr (kN/m)	Pcr (kN/m)	Pcr (kN/m)
Simples	12,03	24,548	18,7

O ensaio monotónico representa a envolvente do ensaio cíclico, como podemos observar na seguinte Figura 15:

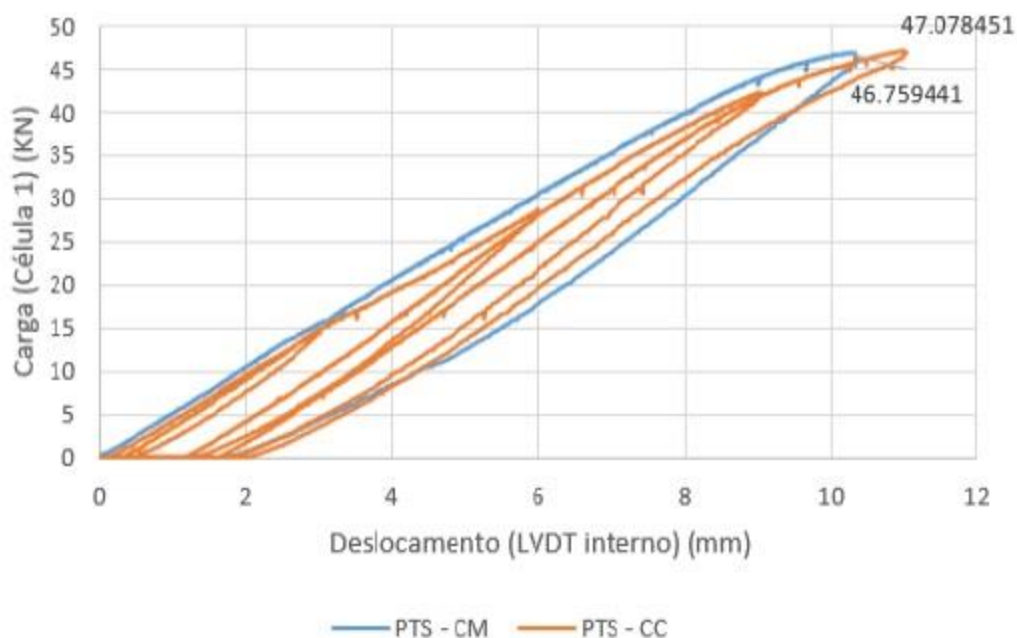


Figura 15 - Ensaio PTS - CS e PTS – CM [1]

A metodologia dos ensaios foi a mesma para a parede de tabique duplo; numa primeira fase foi realizado o ensaio monotónico e posteriormente, a partir do ensaio anterior, o ensaio cíclico. O ensaio cíclico depende do monotónico. Sendo controlado por deslocamento, estimou-se através do ensaio monotónico quais os patamares de deslocamento correspondentes aos intervalos de 10kN a impor no ensaio cíclico, permitindo simular ciclos de carga crescente até atingir a carga máxima do ensaio. [1]

Na Figura 16 e Figura 17 podemos observar os resultados dos dois ensaios laboratoriais realizados na parede de tabique duplo:

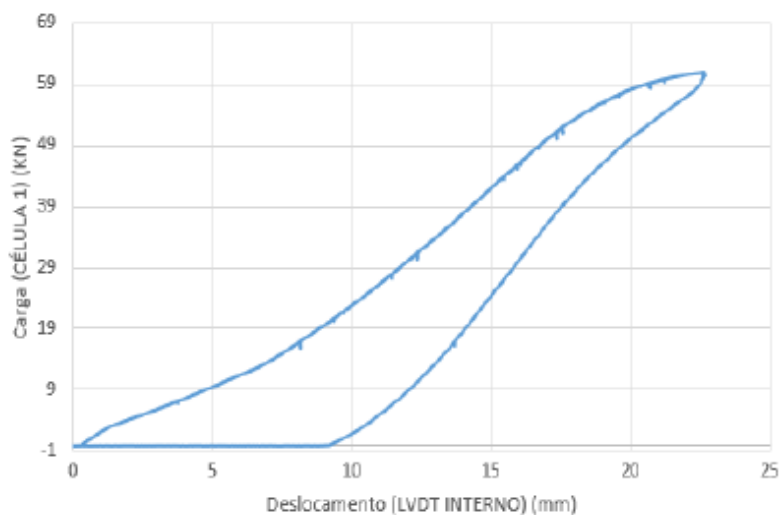


Figura 16 - Ensaio Monotônico PTD [1]

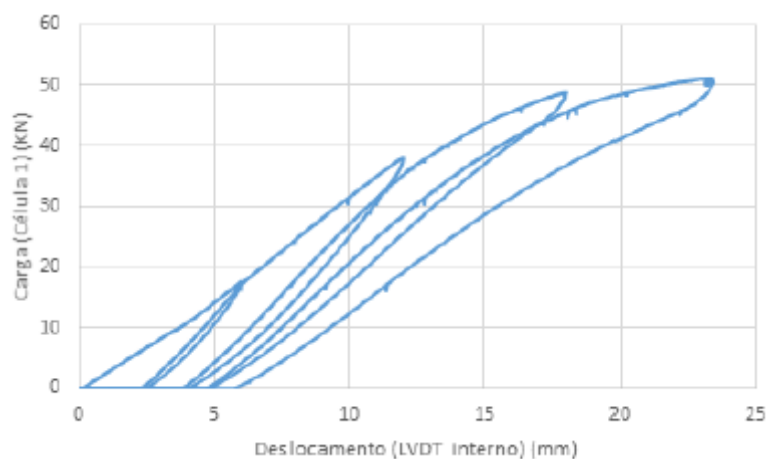


Figura 17 - Ensaio Cíclico PTD [1]

Tal como na parede de tabique simples, também para a parede de tabique duplo calculou-se na Tabela 2 - Cargas críticas obtidas experimental e numericamente (PTD) o intervalo teórico no qual se deve integrar o valor experimental obtido em laboratório.

Tabela 2 - Cargas críticas obtidas experimental e numericamente (PTD)

Parede	Análise Numérica		Análise Experimental
	Rotulada no topo e base	Rotulada no topo e encastrada na base	
	Pcr (kN/m)	Pcr (kN/m)	Pcr (kN/m)
Dupla	15,577	31,79	24,12

Também tal como na parede de tabique simples, o ensaio monotónico deverá ser a envolvente do ensaio cíclico, mas tal não ocorre com a parede de tabique duplo como se pode ver na próxima Figura 18. A diferença resulta do facto das paredes usadas serem diferentes e, neste caso, poderem apresentar ligações entre tábuas verticais e diagonais diferentes, refletindo-se em resistências e rigidez não coincidentes. [1]

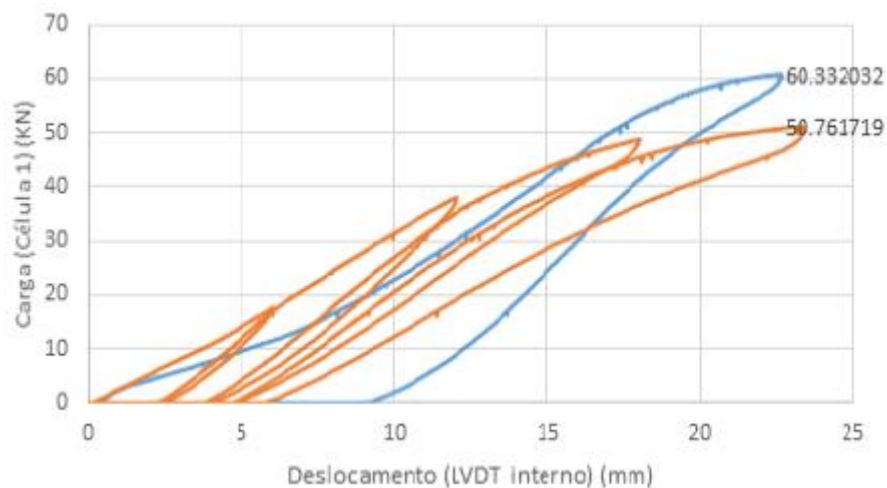


Figura 18 - Ensaio PTS - CS e PTS – CM [1]

3.4. COMPORTAMENTO DEVIDO ÀS AÇÕES HORIZONTAIS (CORTE)

As paredes de tabique, além de funcionarem à compressão, também podem ser solicitadas horizontalmente. Neste subcapítulo será avaliado numericamente a rigidez dos dois modelos, parede de tabique simples e duplo, às forças horizontais.

Nesta análise, a importância da direção das tábuas é fulcral para a capacidade resistente, por isso, é necessário ter em conta a orientação das mesmas para poder comparar e discutir resultados. Analisando os resultados anteriores, constata-se que a parede de tabique simples tem mais capacidade resistente à compressão para a mesma espessura do que a parede de tabique duplo; a parede de tabique duplo tendo o dobro da espessura da parede de tabique simples, não respondeu com o dobro da carga crítica; a explicação para este fenómeno está na orientação da segunda camada de tábuas de madeira que, sendo

diagonal, não apresenta o mesmo comportamento das tábuas verticais. A carga crítica da parede de tabique simples tem o valor de 12,156kN/m e a da parede de tabique duplo 17,261kN/m. Estes valores mostram que apenas houve um aumento de cerca de 30% na capacidade resistente. No que toca à compressão, as tábuas diagonais não contribuem para a resistência vertical de igual forma que as tábuas verticais.

Passando agora às forças horizontais; foi aplicada no modelo numérico uma força de 1kN no frechal superior com a direção do eixo do x; as condições de fronteira consideradas foram: frechal superior impedido de se deslocar em y, para fora do plano, e z, direção vertical, e o frechal inferior nas direções x, direção horizontal, y e z. [1]

Depois de calibrados os modelos, determina-se a rigidez horizontal de cada um. Esta rigidez é calculada a partir da seguinte fórmula 1.3 [1]:

$$k(kN/m) = F(kN) \times \frac{1}{md(m)} \quad (1.3)$$

em que F representa a força de 1kN aplicada no frechal superior e md a média dos deslocamentos dos dois nós extremos do frechal superior.

Os resultados obtidos permitem concluir que a parede de tabique duplo é muito mais rígida que a parede de tabique simples, com valores da rigidez 6369,4kN/m e 490,9kN/m, respetivamente. O valor da rigidez horizontal da parede de tabique duplo aumenta cerca de 92,5% em relação à parede de tabique simples e isto ocorreu pelo simples facto de as tábuas diagonais trabalharem na direção axial. Pode-se então concluir que estas paredes de tabique duplo são uma boa opção para o contraventamento horizontal. [1]

Na Figura 19 observam-se as deformadas para a ação horizontal:

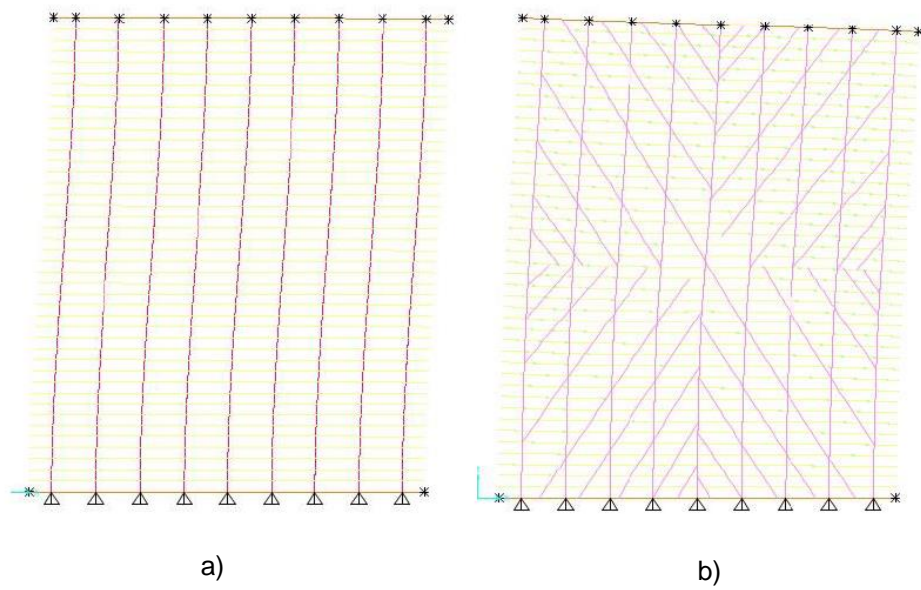


Figura 19 - Deformada por ação horizontal: a) Modelo Simples; b) Modelo Duplo [1]

4

MEDIDAS DE REFORÇO DAS PAREDES DE TABIQUE

4.1. OBJETIVOS

Este capítulo tem como objetivos:

- Enumerar algumas medidas de reforço de paredes de tabique;
- Simular numericamente medidas de reforço;
- Apresentar e analisar resultados;

4.2. MEDIDAS DE REFORÇO DE PAREDES DE TABIQUE

Após a análise dos resultados numéricos e experimentais relativos ao comportamento das paredes de tabique, pode-se começar a pensar no tema principal desta dissertação de mestrado: análise de medidas de reforço de parede de tabique e da sua eficácia.

Como se mencionou no capítulo 2, num processo de reabilitação é necessário elaborar um plano de intervenção de acordo com os resultados obtidos durante as fases de inspeção e diagnóstico, incluindo-se nesta última fase a avaliação de segurança, tal como é parcialmente descrito no capítulo 3. Esta avaliação passa por primeiro medir a geometria da estrutura e avaliar os materiais e o seu estado de conservação – se estão pouco, ou muito danificados – e depois determinar a carga crítica do elemento estrutural em questão. Esta fase é fundamental, pois é necessário conhecer a capacidade resistente da parede que estamos a avaliar para saber qual o tipo de intervenção que se deve realizar, se de manutenção, se de reforço, ou eventualmente substituição.

Os próximos pontos apresentam algumas medidas que permitem aumentar a capacidade portante das paredes de tabique através do reforço estrutural, procurando, no entanto, que essas medidas apresentem impacto mínimo na estrutura original.

4.2.1. MEDIDAS DE REFORÇO DA PAREDE DE TABIQUE À COMPRESSÃO

Neste subcapítulo optou-se por escolher duas medidas de reforço e aplicar ambas tanto na parede de tabique simples como na parede de tabique duplo: o uso da argamassa e o uso de fitas metálicas furadas; para estas fitas metálicas usou-se o catálogo de chapas e ligadores metálicos da empresa italiana ROTHOBLAAS [18]. O objetivo destas medidas de reforço são aumentar a capacidade resistente à encurvadura e aumentar a rigidez da parede ao corte no plano, ou seja, melhorar o desempenho destes elementos quando integrados num possível edifício sujeito a medidas de reabilitação, promovendo a sua manutenção.

4.2.1.1. Uso de argamassa

Para estudar estas medidas de reforço, para além dos modelos de parede de tabique simples e duplo utilizados no capítulo 3, foram modelados mais quatro modelos: um com argamassa em apenas uma das faces e outro com argamassa em ambas as faces, repetindo-se para a parede de tabique simples e para a parede de tabique duplo. A argamassa foi uma das primeiras opções de estudo de reforço estrutural, pelo simples facto que nenhuma destas paredes está presente numa habitação sem se encontrar revestida pela mesma. No caso das soluções de reforço não houve ensaios experimentais para se poder comparar com os valores obtidos numericamente através do SAP2000 ou da equação 1.1.

Para representar a realidade no programa SAP2000 foi necessário proceder a modificações no que toca às dimensões da argamassa. Considerou-se uma camada real de argamassa de cerca de 1,7cm aplicada para além da face externa do ripado; no programa de cálculo, e porque o centro de gravidade da camada de argamassa coincide com o centro de gravidade do ripado, ou seja, encontra-se mais próximo do centro de gravidade das tábuas do que a situação real, foi preciso aumentar a espessura da camada de argamassa de forma a simular no programa de cálculo a mesma inércia da camada real. A metodologia foi a seguinte:

- Primeiro, calculou-se a inércia real da argamassa com espessura de 1,7cm em relação ao centro de gravidade das tábuas;
- Posteriormente, representou-se o que seria simulado no programa de cálculo: a camada de argamassa de espessura “e” alinhada com o centro de gravidade do ripado, e calculou-se a inércia da argamassa nessas novas condições;
- De seguida, igualaram-se as inércias calculadas nos pontos anteriores e determinou-se a nova espessura “e” que foi depois introduzida no programa de cálculo;

Traduzindo esta metodologia e dando o exemplo da parede de tabique simples com argamassa dos dois lados, temos o cálculo da inércia a partir da equação 1.4. A próxima Figura 20 e Figura 21 apresentam um corte horizontal da parede real na largura de influência de uma tábua e o mesmo corte tal como a parede aparece simulada no programa de cálculo.

$$I(\text{argamassa real}) = \frac{b * h^3}{12} + (b * h) * d^2 \quad (1.4)$$

$$I(\text{argamassa real}) = \frac{0,28 * 0,017^3}{12} + (0,28 * 0,017) * \left(\frac{0,017}{2} + 0,018 + \frac{0,025}{2}\right)^2$$

$$I(\text{argamassa real}) = 1,2625 * 10^{-5} m^4$$

$$I(\text{argamassa equivalente}) = 1,2625 * 10^{-5} = \frac{0,28 * e^3}{12} + (0,28 * e) * \left(0,009 + \frac{0,025}{2}\right)^2$$

$$e(\text{argamassa equivalente}) = 0,06474 \text{ m}$$

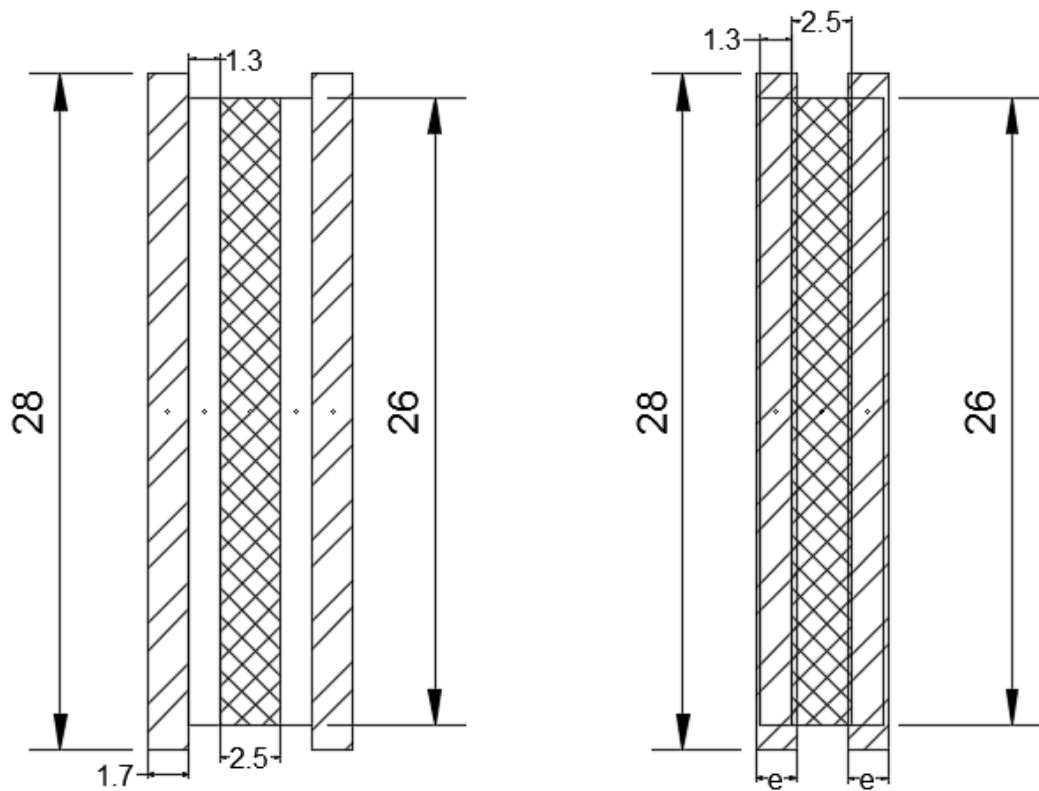


Figura 20 – Cortes horizontais representativos da realidade (à esquerda) e do programa de cálculo (à direita)

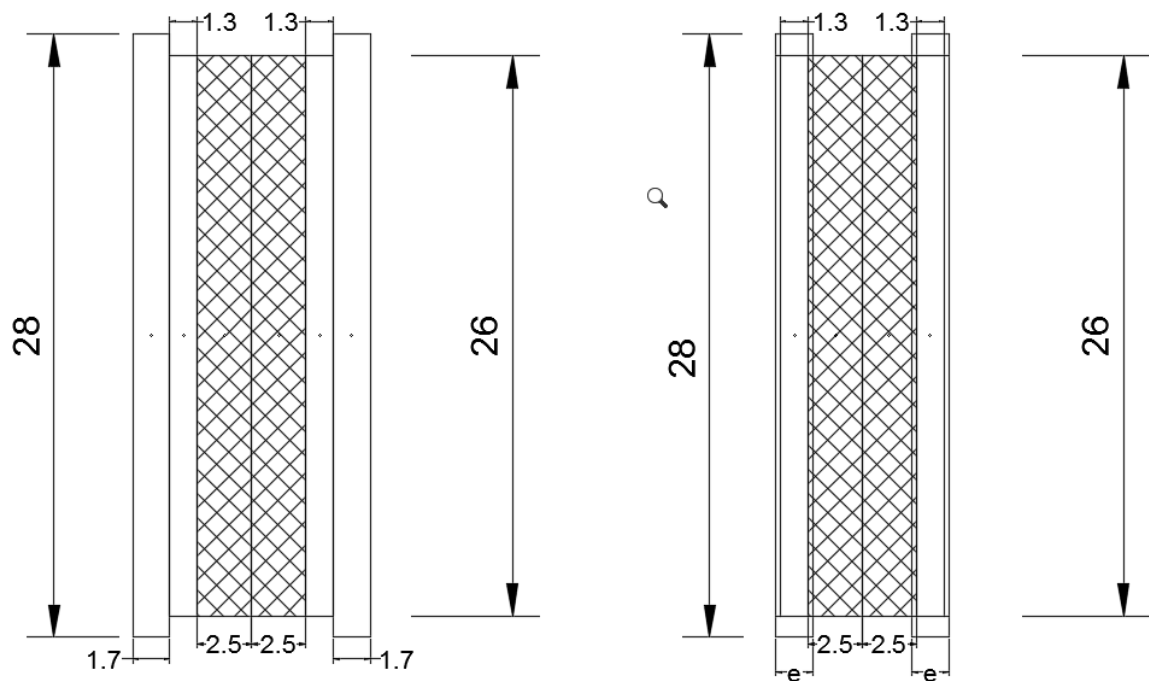


Figura 21 - Cortes horizontais representativos da realidade (à esquerda) e do programa de cálculo (à direita)

No caso da parede de tabique duplo, a espessura equivalente da argamassa depois de seguir os passos em cima demonstrados, passa de 1,7cm para 6,17cm. Na realidade, no programa de cálculo, na parede de tabique simples, a espessura introduzida teria de ser 6,47cm e na parede de tabique duplo, a espessura teria de ser 6,17cm, mas os resultados a seguir apresentados nas tabelas foram todos calculados a partir da espessura equivalente da argamassa da PTS, os 6,47cm.

Após estes ajustes no programa de cálculo, calculou-se o fator de encurvadura e respetiva carga crítica para diferentes possibilidades de argamassa: primeiro uma argamassa que pode ser encontrada vulgarmente *in situ*, com um módulo de elasticidade, E , de 1GPa e de seguida, outras argamassas com diferentes módulos de elasticidade, nomeadamente 2GPa, 3GPa, 4GPa e 10GPa. Na Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7, apresentam-se, tanto para a parede de tabique simples como a parede de tabique duplo, o aumento de resistência portante e o respetivo rácio de quanto esta resistência aumenta em relação às paredes sem argamassa.

Tabela 3 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa de $E = 1\text{ GPa}$

Parede	Pcr [$E(\text{argamassa}) = 1\text{ GPa}$] em kN/m		
	sem argamassa	com argamassa (um lado)	com argamassa (dois lados)
PTS	12,156	62,836	129,148
Rácio	-	5,2	10,6
PTD	17,261	62,753	117,691
Rácio	-	3,6	6,8

Tabela 4 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa de $E = 2\text{ GPa}$

Parede	Pcr [$E(\text{argamassa}) = 2\text{ GPa}$] em kN/m		
	sem argamassa	com argamassa (um lado)	com argamassa (dois lados)
PTS	12,156	103,736	245,661
Rácio	-	8,5	20,2
PTD	17,261	100,966	216,437
Rácio	-	5,8	12,5

Tabela 5 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa $E = 3\text{ GPa}$

Parede	Pcr [$E(\text{argamassa}) = 3\text{ GPa}$] em kN/m		
	sem argamassa	com argamassa (um lado)	com argamassa (dois lados)
PTS	12,156	139,559	361,681
Rácio	-	11,5	29,8
PTD	17,261	135,452	314,642
Rácio	-	7,8	18,2

Tabela 6 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa E = 4GPa

Parede	Pcr [E(argamassa) = 4GPa] em kN/m		
	sem argamassa	com argamassa (um lado)	com argamassa (dois lados)
PTS	12,156	172,402	477,182
Rácio	-	14,2	39,3
PTD	17,261	167,574	412,413
Rácio	-	9,6	23,9

Tabela 7 - Cargas críticas para PTS e PTD com argamassa E = 10GPa

Parede	Pcr [E(argamassa) = 10GPa] em kN/m		
	sem argamassa	com argamassa (um lado)	com argamassa (dois lados)
PTS	12,156	344,425	1157,277
Rácio	-	28,3	95,2
PTD	17,261	337,704	990,774
Rácio	-	19,6	57,4

Depois de analisadas as tabelas, pode concluir-se que a argamassa é uma boa medida de reforço estrutural, aumentando significativamente a capacidade resistente tanto da parede de tabique simples como da parede de tabique duplo, embora aumente mais nas paredes de tabique simples do que nas de tabique duplo; por exemplo na tabela 3: aplicando argamassa de um lado, a PTS tem um aumento de capacidade portante de 5,2 vezes, enquanto na PTD, o aumento é de apenas 3,6 vezes. Claro que a diferença não é muito significativa, ainda assim, é um ponto a ter em conta.

Embora o uso de argamassa seja uma boa medida de reforço, e a sua capacidade portante vertical aumente com a rigidez da argamassa, o facto de a madeira ser um material flexível, pode ser incompatível o uso de uma argamassa demasiado rígida que não deixe a madeira trabalhar como material flexível que é, promovendo o aparecimento de fissuras na argamassa. Portanto, é necessário saber com que tipo de argamassa se está a trabalhar e que propriedades apresenta antes da aplicação da mesma, visto que estes dois materiais podem não ser compatíveis a curto, médio ou longo prazo.

Além de aplicar só argamassa, também se pode combinar materiais, como por exemplo, usar uma argamassa de 1GPa e combiná-la com uma rede metálica ou até uma rede polimérica, dotando, por exemplo, a argamassa de uma maior capacidade de resistência à tração. No caso da argamassa dos dois

lados, uma das faces está a trabalhar à compressão, enquanto que a outra trabalha à tração – esta camada que está a funcionar à tração, mesmo não estando a trabalhar, oferece resistência; sendo a argamassa um bom material quando sujeita a forças de compressão, a combinação da rede metálica ou polimérica na face da argamassa que trabalha à tração provém esta de propriedades para não ganhar fissuras e para contribuir para a resistência da parede.

4.2.1.2. Uso de fitas metálicas perfuradas

Como foi referido no subcapítulo 4.2.1., usou-se um dos catálogos da empresa italiana ROTHOBLAAS [18], o catálogo de chapas e ligadores metálicos para obter medidas de reforço estrutural; dentro deste catálogo, a medida de reforço mais interessante para usar como reforço estrutural para aumentar a capacidade resistente das paredes de tabique, tanto às compressões axiais como aos esforços de corte, foram as fitas metálicas perfuradas, Figura 22, pelas várias disposições possíveis que se podem obter.

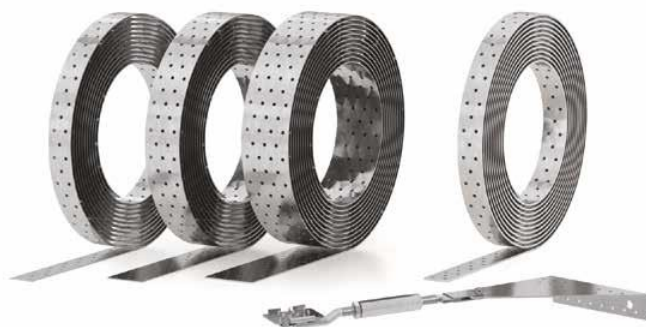


Figura 22 - Fitas metálicas furadas ROTHOBLAAS [18]

Da mesma maneira que se fez para representar a realidade no programa de cálculo com a argamassa, o mesmo teve de se fazer com as fitas metálicas, mas neste caso, o centro de gravidade das fitas metálicas tiveram de coincidir com o centro de gravidade das tábuas de madeira. Os estudos realizados tiveram em conta duas fitas diferentes: uma fita com espessura igual a 1,5mm e a outra com uma espessura igual a 3,0mm, como mostra a Tabela 8. Ao utilizar a mesma metodologia que se usou para a determinação da espessura equivalente da argamassa, as espessuras das fitas metálicas passam de 1,5mm para 7,34mm e a de 3,0mm para 9,60mm, como se pode observar na Tabela 8; o mesmo procedimento é feito para a parede de tabique duplo, as espessuras das fitas metálicas passam de 1,5mm para 11,4mm e a de 3,0mm para 14,8mm, como se pode observar também na Tabela 8. Depois de saber as espessuras equivalentes das fitas metálicas, colocou-se no programa uma série de disposições:

- uma fita na diagonal só numa das faces da parede, com a disposição "\";
- duas fitas na diagonal em ambas as faces com a mesma disposição da anterior;
- duas fitas em forma de "X" só numa face da parede;
- quatro fitas em forma de "X", em que duas estão numa das faces da parede e as

outras duas na face oposta;

- repetição das anteriores com argamassa só de um lado e com argamassa dos dois lados.

Pode-se ver as disposições acima mencionadas na seguinte Figura 23:

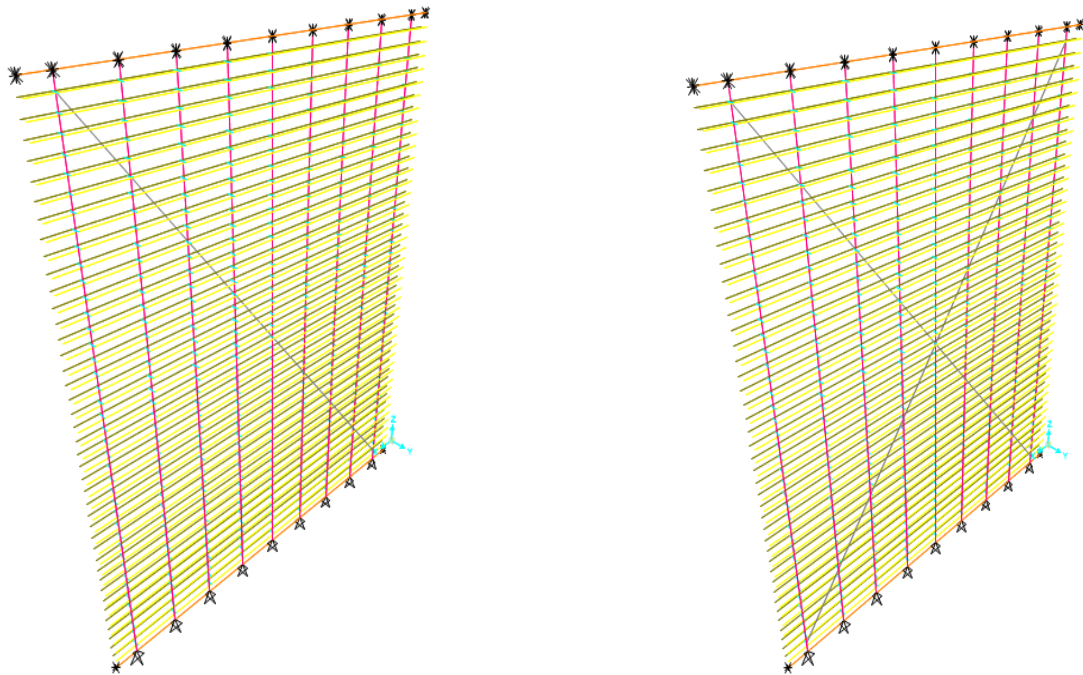


Figura 23 – Fitas metálicas numa PTS com disposição em “\” e em “X”

No caso das fitas nas duas faces da parede, porque o programa as representa no centro de gravidade das tábuas de madeira, e porque a inércia é igual ao dobro, a dimensão “B” que se encontra na Tabela 8 - Códigos e dimensões das fitas metálicas terá de ser multiplicada por dois.

Tabela 8 - Códigos e dimensões das fitas metálicas

Fitas Metálicas			
LBB 1,5mm			
B (mm)	L (m)	S (mm)	
40	50	1,5	i
60	50	1,5	ii
80	25	1,5	iii
LBB 3,0mm			
40	50	3	iv

Tabela 9 - Espessuras equivalentes das fitas metálicas

Parede dupla/simples (1 fita)				
	3,0mm		1,5mm	
Inércia =	5,903E-07	m ⁴	2,636E-07	m ⁴
e (fita) =	0,0096	m	0,0073	m
Parede simples/dupla (2 fitas)				
	3,0mm		1,5mm	
Inércia =	2,109E-06	m ⁴	9,949E-07	m ⁴
e (fita) =	0,0148	m	0,0114	m

O estudo foi realizado primeiro para a parede de tabique duplo – sem argamassa e com argamassa nas duas faces – e de seguida para a parede de tabique simples – sem argamassa e com argamassa nas duas faces. Após o primeiro estudo deparou-se que o valor da carga crítica praticamente não oscilava, como se pode observar na Tabela 10 –Tabela 10, onde se pode encontrar o valor da carga crítica com e sem fita e ainda o rácio entre estes dois valores, para verificar quantas vezes a resistência da parede aumenta em relação à parede sem qualquer medida de reforço; para ter um termo de comparação, fez-se o estudo da parede de tabique simples, apresentado na

Tabela 11. No decorrer do estudo desta medida de reforço estrutural, chegou-se à conclusão que as fitas metálicas perfuradas não acrescentam qualquer tipo de resistência adicional às paredes de tabique, tanto a de tabique simples (com e sem argamassa), como a de tabique duplo (também com e sem argamassa).

Tabela 10 – Cálculo da carga crítica para a PTD com fitas metálicas perfuradas

DUAS FITAS, uma à frente e uma atrás			
Com UMA fita na (\) [kN/m]			
PTD s/ argamassa		PTD c/ argamassa (2 lados)	
i		i	
Pcr (s/fita) =	17,2612	Pcr (s/fita) =	117,619
Pcr (c/fita) =	17,703	Pcr (c/fita) =	117,658
Rácio	1,0	Rácio	1,0
ii		ii	
Pcr (s/fita) =	17,2612	Pcr (s/fita) =	117,619
Pcr (c/fita) =	17,775	Pcr (c/fita) =	117,682
Rácio	1,0	Rácio	1,0
iii		iii	
Pcr (s/fita) =	17,2612	Pcr (s/fita) =	117,619
Pcr (c/fita) =	17,854	Pcr (c/fita) =	117,716
Rácio	1,0	Rácio	1,0
iv		iv	
Pcr (s/fita) =	17,2612	Pcr (s/fita) =	117,619
Pcr (c/fita) =	17,956	Pcr (c/fita) =	117,862
Rácio	1,0	Rácio	1,0

Tabela 11 – Cálculo da carga crítica para a PTS com fitas metálicas perfuradas

UMA FITA			
Com DUAS fitas na diagonal (em X) [kN/m]			
PTS s/ argamassa		PTS c/ argamassa (2 lados)	
i		i	
Pcr (s/fita) =	12,156	Pcr (s/fita) =	129,148
Pcr (c/fita) =	12,66	Pcr (c/fita) =	132,22
Rácio	1,0	Rácio	1,0
ii		ii	
Pcr (s/fita) =	12,156	Pcr (s/fita) =	129,148
Pcr (c/fita) =	12,79	Pcr (c/fita) =	132,4
Rácio	1,1	Rácio	1,0
iii		iii	
Pcr (s/fita) =	12,156	Pcr (s/fita) =	129,148
Pcr (c/fita) =	12,92	Pcr (c/fita) =	132,61
Rácio	1,1	Rácio	1,0
iv		iv	
Pcr (s/fita) =	12,156	Pcr (s/fita) =	129,148
Pcr (c/fita) =	12,94	Pcr (c/fita) =	132,51
Rácio	1,1	Rácio	1,0

4.2.2. MEDIDAS DE REFORÇO DA PAREDE DE TABIQUE AO CORTE

Em relação à aplicação de argamassa nas paredes de tabique simples e duplo, além de ter uma contribuição expressiva na carga crítica, funciona também muito bem quando sujeita a esforços de corte, aumentando significativamente a rigidez horizontal; por exemplo, na parede de tabique simples, a rigidez horizontal passa de 490,9kN/m para 7462,7kN/m quando da aplicação da argamassa só numa das faces, aumentando 15,2 vezes a rigidez horizontal da parede, e para 11494,3kN/m quando da aplicação da argamassa nas duas faces, aumentando 23,4 vezes. Ao contrário do que se pode ver na Figura 19, em que a parede de tabique simples não trabalha como um corpo rígido, depois da aplicação da argamassa – numa das faces ou em ambas – a deformada começa a ficar ligeiramente parecida como a de um corpo rígido, como se pode observar na Figura 24.

As fitas metálicas perfuradas, estando a ser estudadas em primeiro lugar para compressões axiais, contribuem também para a resistência ao corte devido à sua disposição diagonal – da mesma maneira que se analisou a contribuição das tábuas diagonais da parede de tabique duplo no subcapítulo 3.4; na Figura 25, pode observar-se, que na primeira parede, com as fitas dispostas em "X", esta pode resistir a esforços de corte na direção xx em ambos os sentidos, e na segunda, terá um melhor comportamento quando traciona a fita.

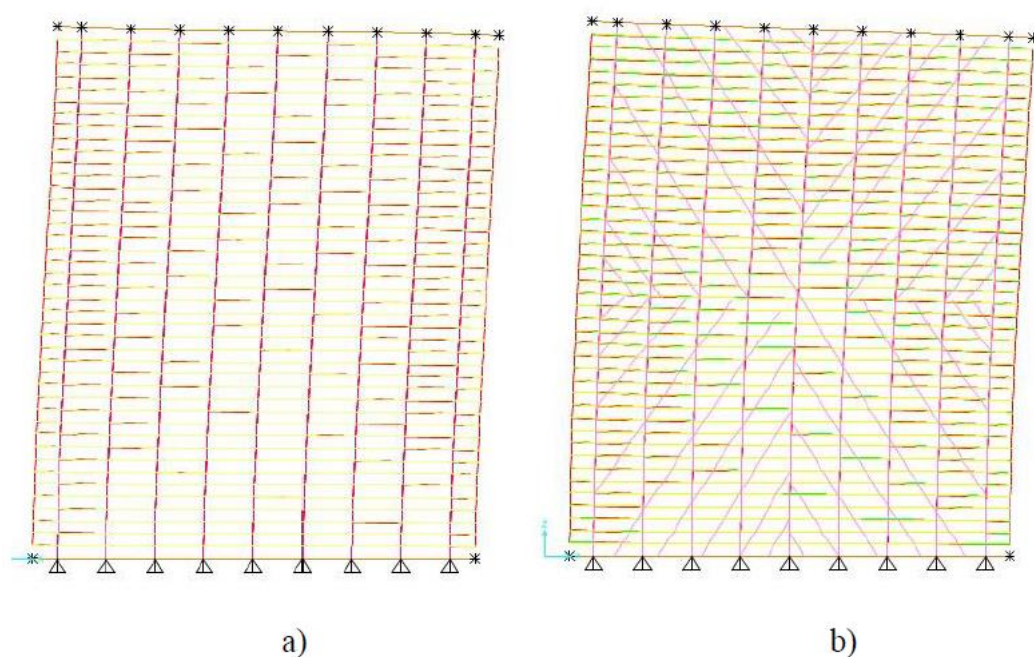


Figura 24 - Deformada por ação horizontal: a) Modelo Simples; b) Modelo Duplo [1]

Do estudo numérico ao corte de ambas as paredes – sem argamassa, com argamassa numa face, com argamassa nas duas faces, com e sem fitas metálicas perfuradas – chegou-se a várias conclusões:

- Primeiro, a contribuição das fitas metálicas perfuradas é mínima no que toca à parede de tabique duplo, com e sem argamassa, como se pode observar na Figura 30, Figura 31, Figura 32 e Figura 33; no subcapítulo 3.4 já se tinha chegado à conclusão que as tábuas diagonais não contribuíam

para a resistência vertical da mesma maneira que as tábuas verticais o faziam, mas estas quando solicitadas a esforços de corte, o valor da rigidez horizontal aumentava significativamente;

- A introdução das fitas metálicas perfuradas na parede de tabique simples muda completamente o funcionamento da parede, fazendo-a funcionar com um corpo rígido; na Figura 25 pode observar-se a comparação da deformada da parede simples com e sem fita metálica perfurada, respetivamente;
- No que toca à parede de tabique simples, a aplicação da argamassa já provém a parede de uma enorme rigidez horizontal; por exemplo, com a aplicação da argamassa de 1GPa só numa das faces da parede de tabique simples, a rigidez horizontal passa de 490,9kN/m para 7462,7kN/m e a esta adicionar ainda a fita metálica perfurada “i”, por exemplo, só numa das faces, a rigidez passa de 7462,7kN/m para 9901kN/m;
- No ponto acima, pode-se reparar que a introdução da argamassa tem uma contribuição muito maior que a introdução da fita metálica perfurada “i”; a introdução de argamassa aumenta a rigidez horizontal em 15,2 vezes, enquanto que, a introdução à posteriori da fita metálica perfurada aumenta a rigidez apenas 1,3 vezes. Note-se, no entanto, que a introdução da fita metálica envolverá sempre a colocação da argamassa à posteriori.

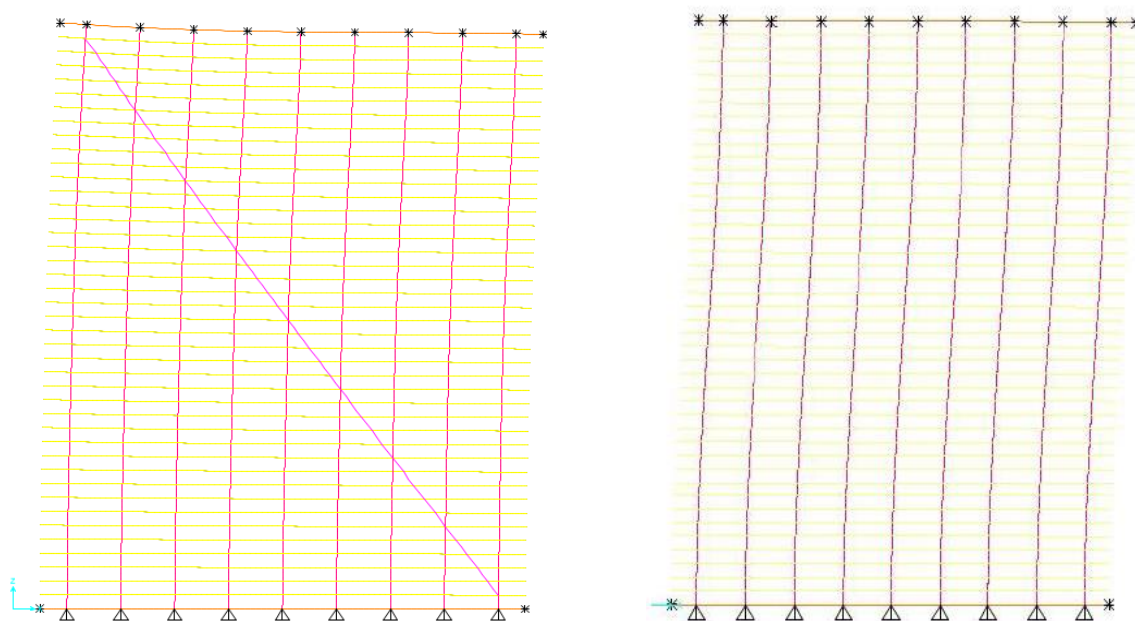


Figura 25 - Deformada da PTS sem argamassa: com fita metálica perfurada (à direita); sem fita metálica perfurada (à esquerda) [1]

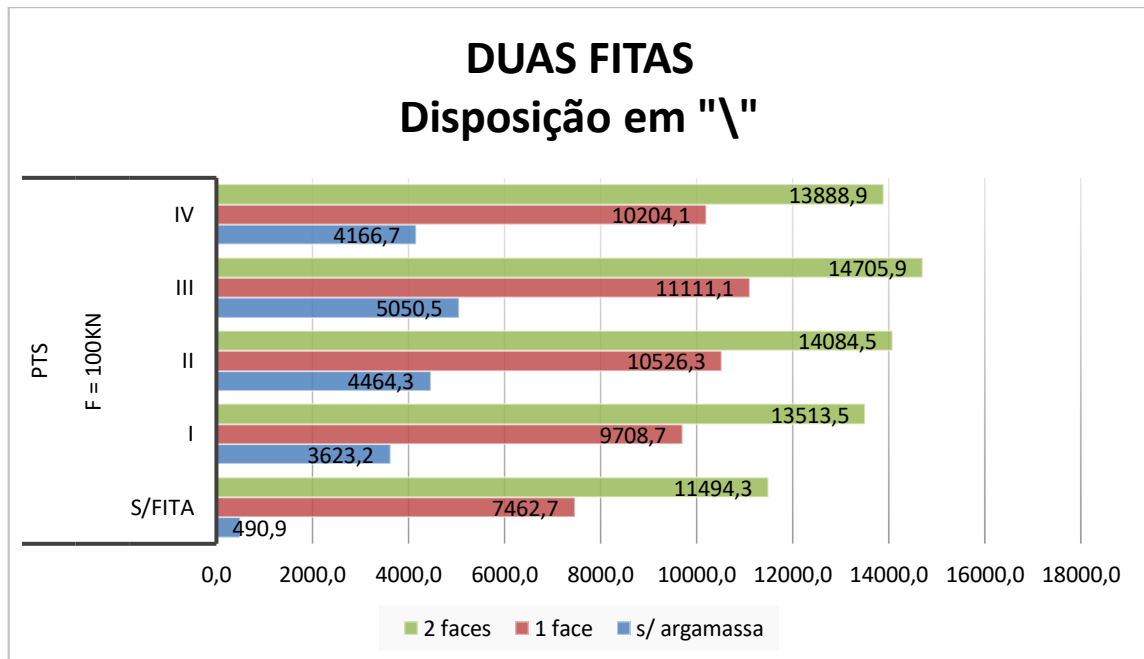


Figura 26 - Valores da rigidez horizontal para a PTS, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior

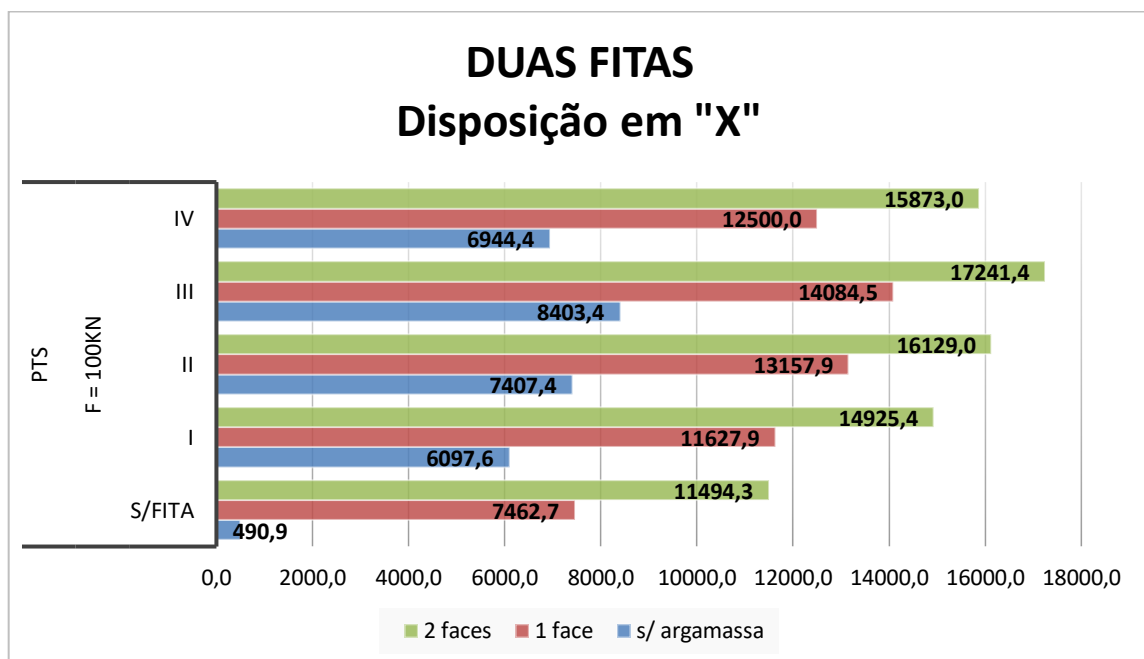


Figura 27 - Valores da rigidez horizontal para a PTS, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior

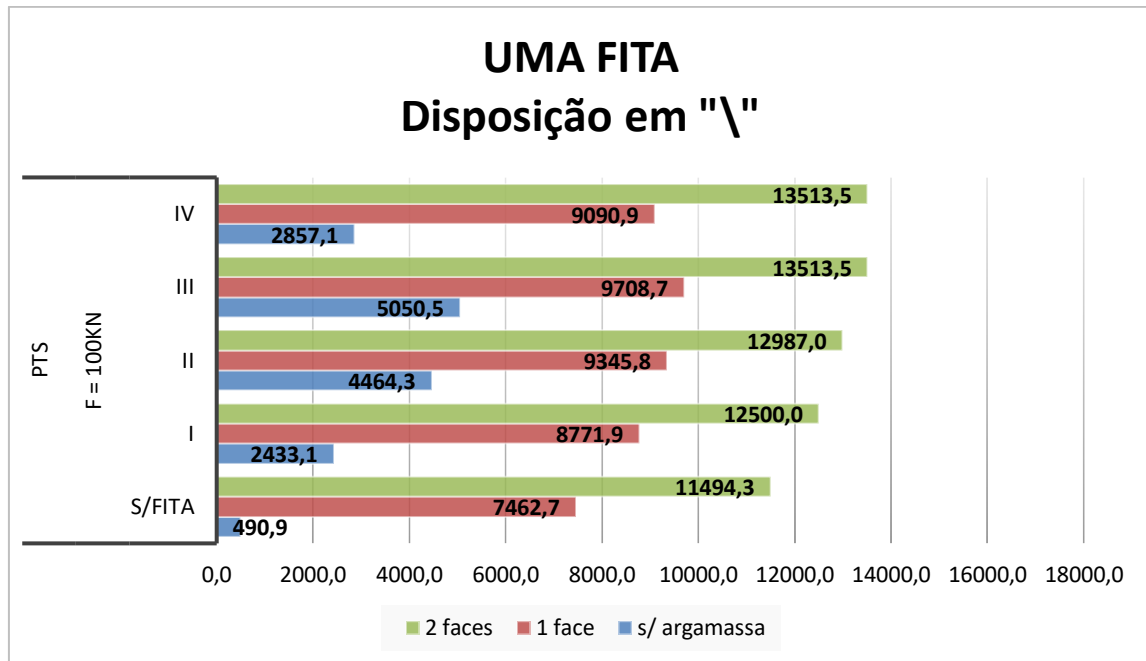


Figura 28 - Valores da rigidez horizontal para a PTS, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior

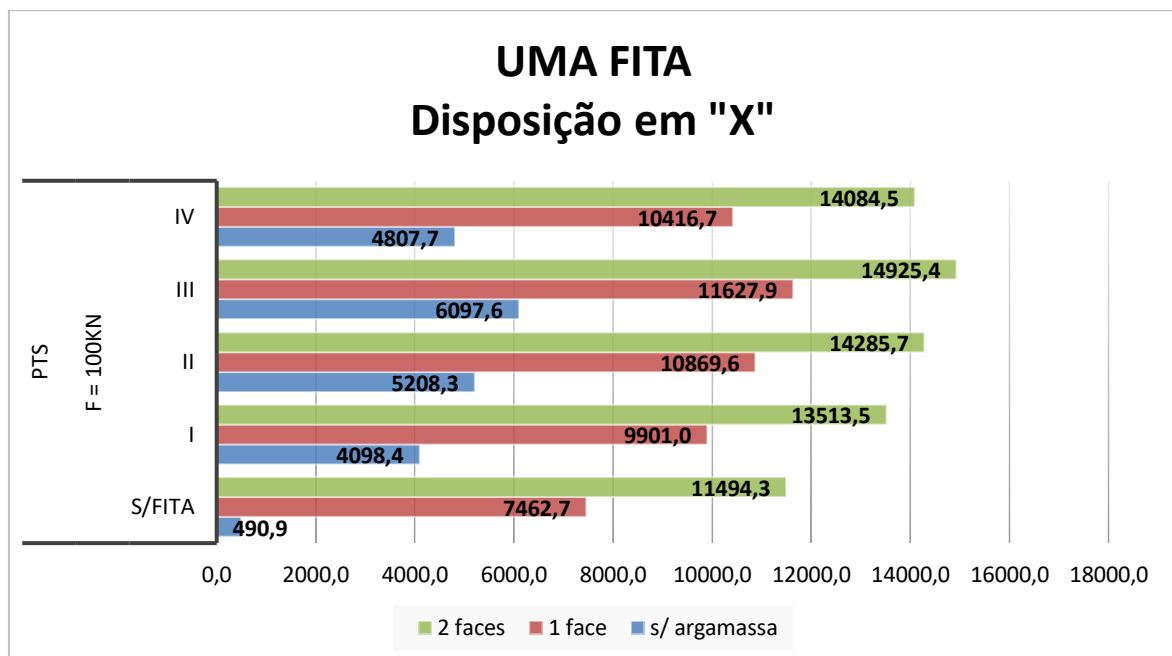


Figura 29 - Valores da rigidez horizontal para a PTS, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior

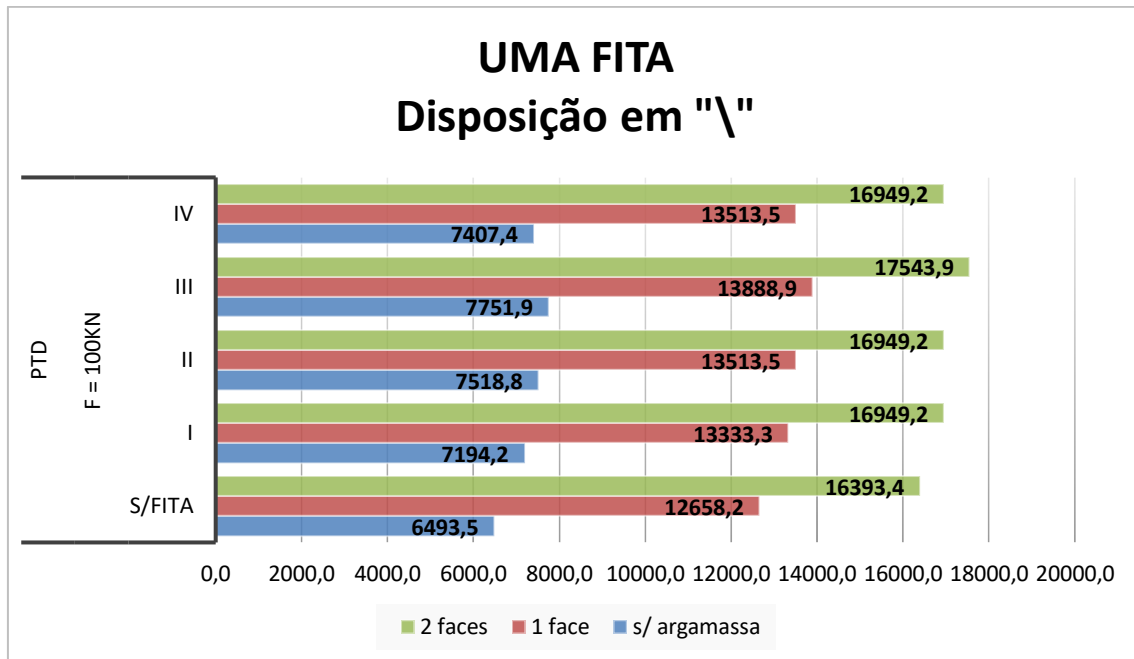


Figura 30 – Valores da rigidez horizontal para a PTB, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior

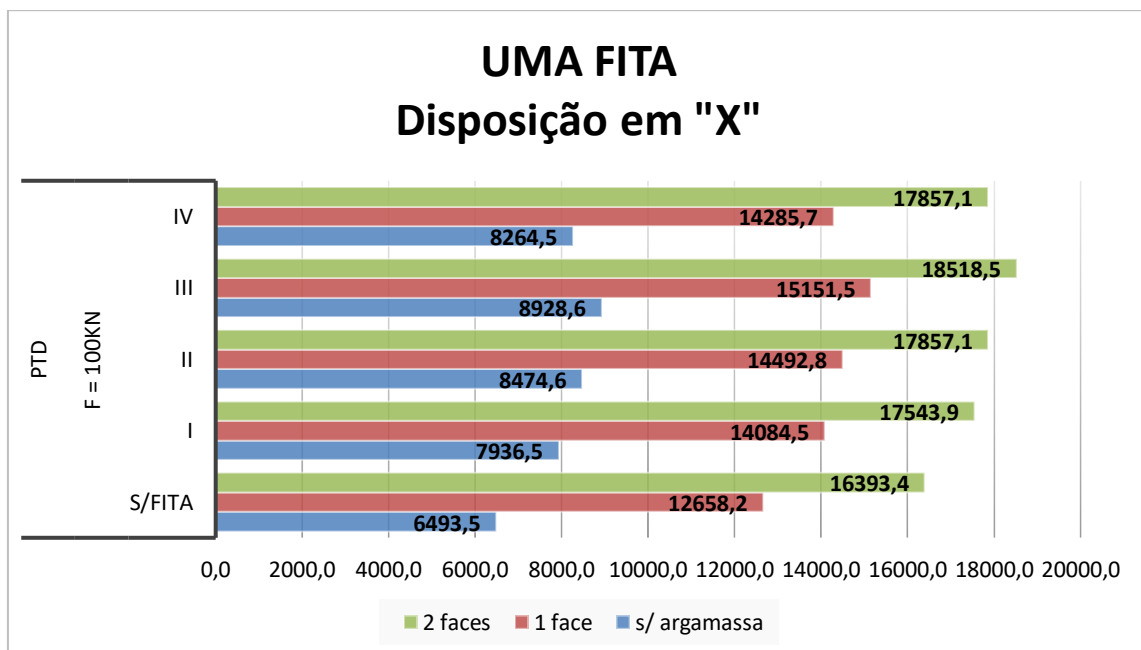


Figura 31 - Valores da rigidez horizontal para a PTB, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior

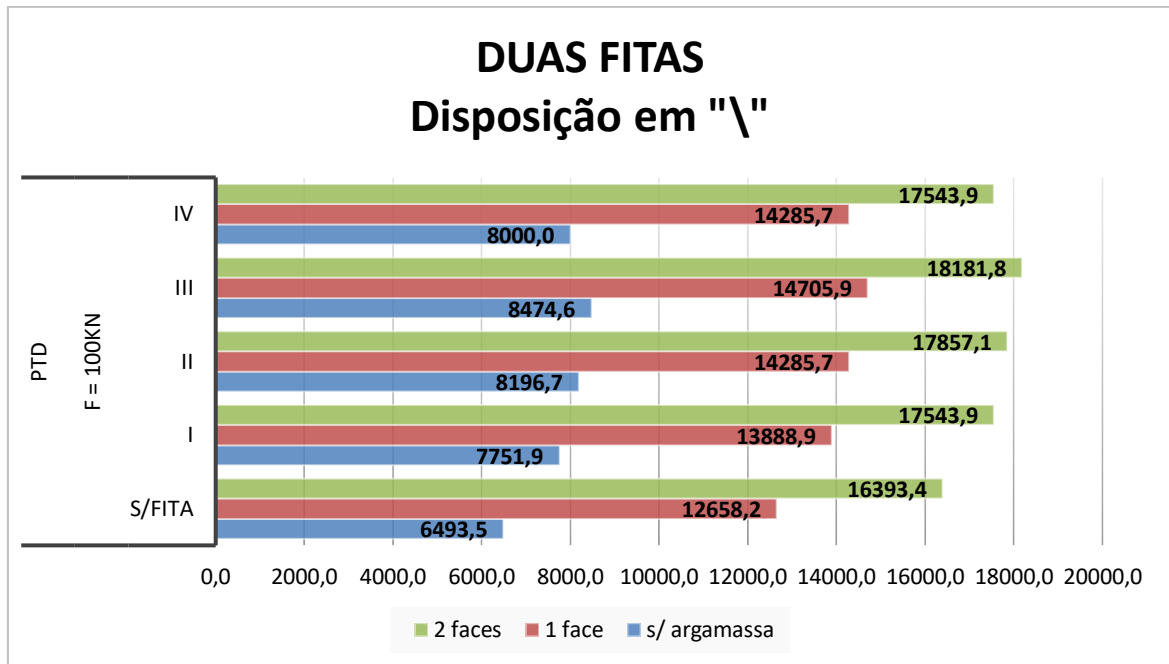


Figura 32 - Valores da rigidez horizontal para a PTB, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior

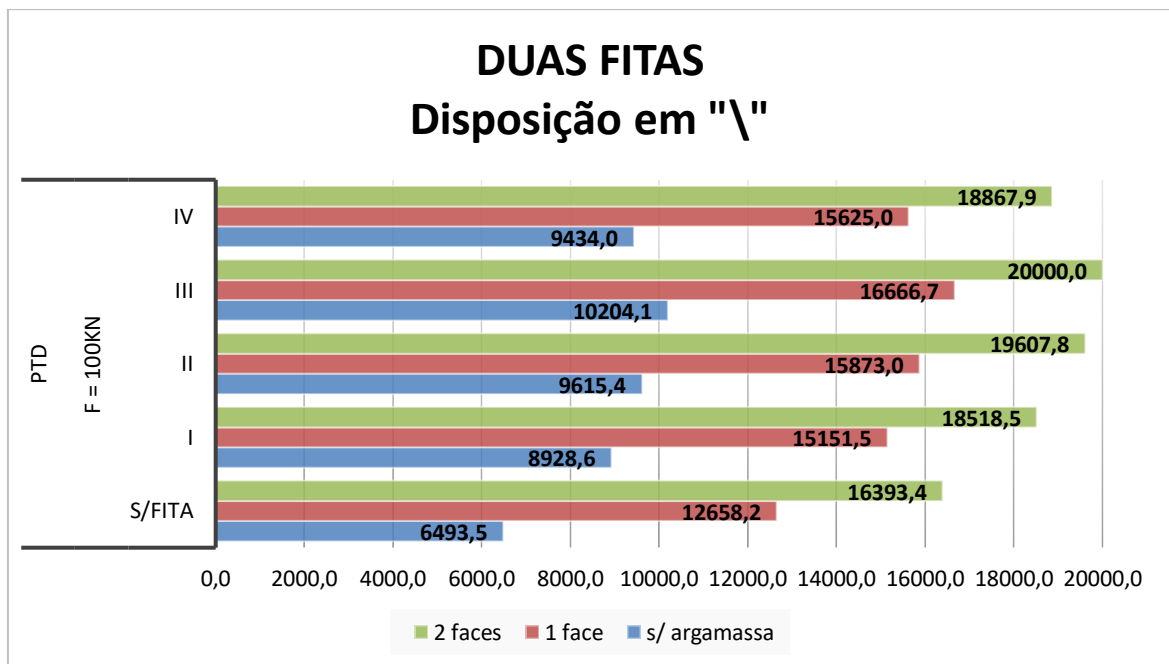


Figura 33 - Valores da rigidez horizontal para a PTB, com e sem argamassa e com e sem fitas metálicas perfuradas, quando sujeita a uma carga pontual de 100kN aplicada no frechal superior

5

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS**5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS**

Apesar da pouca informação relativa ao tema principal desta dissertação, paredes de tabique, pode-se afirmar que muito do património existente nos grandes centros históricos, nomeadamente Porto e Lisboa, são construídos com elementos de tabique. Estes elementos sendo feitos de um material natural, a madeira, era uma técnica muito utilizada para construir não só paredes, mas outros elementos construtivos, como tetos, claraboias e até caixas de escadas. Embora hajam algumas diferenças destes elementos entre Porto e Lisboa, esta dissertação ir-se-á focar nas paredes de tabique encontradas no Centro Histórico do Porto.

Como foi mencionado acima, este trabalho irá incidir-se nas paredes de tabique que podem ser encontradas nas casas do centro histórico da cidade do Porto, a chamada "típica casa Burguesa do Porto" e tem como objetivo a sua manutenção para continuarem a desempenhar a função que têm desempenhado até à data. Apesar de serem consideradas paredes divisórias, ao longo dos anos, fazem muito mais que apenas compartimentar a habitação; uma vez que estes elementos estão ligados aos demais elementos do edifício, contribuem para a estabilidade do mesmo, funcionando como elemento de suporte - suportando as vigas que com o tempo se deformaram e se apoiaram nas paredes - e de contraventamento. Além de paredes divisórias, em alguns edifícios, o último piso, normalmente, um recuado, apresentava esta solução construtiva - paredes de tabique - em que neste caso já assumia um papel estrutural, recebendo a cobertura.

Estas paredes de tabique, no Centro Histórico do Porto, apresentam, geralmente, duas tipologias: a parede de tabique simples e a parede de tabique duplo.

Após a introdução às paredes de tabique e na continuação do trabalho realizado nos anos anteriores, primeiro por André Pires [4] e posteriormente por Andreia Rebelo [1], propôs-se duas medidas de reforço estrutural: argamassa e fitas metálicas perfuradas. Antes de estudar qualquer uma destas medidas, foi necessário analisar os modelos numéricos realizados em SAP2000 por André Pires [4] e de seguida melhorados por Andreia Rebelo [1]: modelo da parede de tabique simples e modelo da parede de tabique duplo. Este estudo passa por verificar se os modelos estão bem construídos, desde número de tábuas a ligações entre parafusos e tábuas, e também as condições de apoio; em relação a estas últimas, com a visita ao local feita por Andreia Rebelo [1], concluiu-se que as condições de apoio não foram de fácil entendimento, então, no programa de cálculo, as condições de apoio estarão entre rotulado em ambas as extremidades ou encastrada na base e rotulado no topo; além do estudo numérico pelo programa de cálculo, também se recorreu ao estudo numérico através da equação da carga crítica 1.1, onde também foram consideradas as duas condições de apoio atrás mencionadas.

Depois da verificação dos modelos numéricos da parede de tabique simples e da parede de tabique duplo, começou-se por avaliar a capacidade resistente às compressões axiais através de uma análise "buckling"

(encurvadura) no programa de cálculo; após esta análise, obtém-se o modo de encurvadura que multiplicada pela carga aplicada (1kN/m) se obtém a carga crítica - equação 1.2 - da parede. A carga crítica para a parede de tabique simples foi de 12,156kN/m e para a parede de tabique duplo 17,261kN/m. Concluiu-se que a resistência à compressão não é igual nas duas paredes, sendo maior na parede de tabique simples, uma vez que o aumento da espessura das tábuas da parede de tabique simples para a parede de tabique duplo não implicou que a carga crítica aumentasse para o dobro. Este fenómeno pode ser explicado pela orientação da segunda camada de tábuas que sendo diagonal não trabalha da mesma maneira que as tábuas orientadas na vertical. Posteriormente à avaliação da capacidade resistente às compressões axiais, avalia-se a resistência horizontal aplicando uma força de 1kN no frechal superior com direção positiva do eixo do x. O valor da rigidez horizontal - equação 1.3 - dá-se pela divisão da força F (kN) aplicada no frechal superior pela divisão da média, md (m), dos deslocamentos dos nós extremos do frechal superior. A rigidez horizontal da parede de tabique simples tem o valor de 490,9kN/m enquanto que o valor da parede de tabique duplo é de 6369,4kN/m. Ao contrário da compressão axial, neste caso, as tábuas que conferem maior rigidez são as tábuas de orientação diagonal e não vertical, como se pode confirmar no valor da rigidez horizontal, fazendo da parede de tabique duplo mais rígida que a parede de tabique simples quando sujeitas a esforços de corte.

Após a avaliação das paredes de tabique simples e duplo à capacidade resistente às compressões axiais e de seguida à resistência horizontal, modelaram-se no programa de cálculo as medidas de reforço estrutural acima mencionadas (argamassa e fitas metálicas perfuradas) para voltar a realizar os mesmos estudos a que foram sujeitas e verificar se as medidas são ou não viáveis. O estudo da argamassa como reforço estrutural passou por experimentar diferentes módulos de elasticidade, nomeadamente de 1GPa, 2GPa, 3GPa, 4GPa e por fim de 10GPa. No que toca à resistência às compressões axiais, com os diferentes módulos de elasticidade, a parede de tabique simples tem um aumento de resistência superior em relação à parede de tabique duplo. Concluiu-se que quanto maior o módulo de elasticidade, maior é a capacidade portante da parede de tabique - tanto simples como duplo -, mas é preciso ter atenção ao material principal do elemento de tabique que é a madeira; os materiais para funcionar em conjunto têm de ser compatíveis e uma argamassa mais rígida pode não combinar com a madeira, que é um material flexível, e em vez de a prover de mais resistência, poderá acontecer precisamente o oposto. O estudo das fitas metálicas perfuradas, como segunda medida de reforço estrutural, teve em conta duas fitas, uma com a espessura de 1,5mm com larguras de 40mm, 60mm e 80mm e outra de 3,0mm com largura de 40mm, e que passa, também, por experimentar diferentes disposições das mesmas, nomeadamente, em "\ " e em "X"; estas duas disposições, numa fase inicial do estudo, apenas numa das faces da parede e posteriormente em ambas as faces. Após o cálculo da capacidade resistente às compressões axiais, concluiu-se que as fitas metálicas perfuradas não têm qualquer tipo de contributo no aumento da carga crítica das paredes de tabique simples e duplo. Em relação à rigidez horizontal, o contributo já é maior em relação à capacidade resistente às compressões axiais, embora continue a não ser uma medida viável.

Concluiu-se com os estudos realizados que das duas medidas de reforço consideradas, a mais viável será a argamassa; esta quando sujeita a esforços de compressão axial e de corte, oferece uma resistência bem superior à resistência que as fitas metálicas perfuradas oferecem.

Finalmente, como proposta para trabalhos futuros:

- Repetir os ensaios laboratoriais com as mesmas paredes para se obter uma gama de valores maior;
- Realizar ensaios laboratoriais das paredes de tabique simples e duplo com a aplicação de medidas de reforço estrutural, nomeadamente, com argamassa numa face e em ambas as faces e com as fitas metálicas perfuradas para posterior comparação com os valores numéricos.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Rebelo, A.F., Avaliação das características mecânicas de paredes de tabique à compressão no plano. 2015.
- [2]. Amorim, O.M.A., Avaliação Experimental do Comportamento de Paredes de Tabique ao Corte no Plano. 2016.
- [3]. <http://www.csiportugal.com/software-videos/2/sap2000#submenu->
- [4]. Pires, A., J. Miranda Guedes, and T. Ilharco, Análise de paredes de tabique: estudo numérico. 2016.
- [5]. Teixeira, J.J.L., Salvaguarda e Valorização do Edificado Habitacional da Cidade Histórica. Metodologia de Intervenção no Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto, in FAUP. 2014, FAUP.
- [6]. Comité Científico Internacional para a Análise e Restauro de Estruturas do Património, Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico. ICOMOS, Lisboa, 2004.
- [7]. Borsi, A., et al., LINEE GUIDA SUGLI EDIFICI IN LEGNO DI SUPPORTO ALLE ASSOCIAZIONI SPORTIVE. 2011.
- [8]. <http://www.oocities.org/tomografiademadeira/madeira.html>.
- [9]. Bom, P.D.P., Estrutura da Madeira. 2011.
- [10]. Santos, D., Alburno e Cerne. 2010.
- [11]. Oliveira, P., Materiais: madeirados e lenhosos. 2012.
- [12]. <http://www.madeidura.com/publicacoes/caracteristicas-e-propriedades-da-madeira>.
- [13]. <http://www.facavocemesmo.net/defeitos-na-madeira/>
- [14]. Oliveira, E.V. and F. Galhano, F. Arquitectura tradicional portuguesa. Dom Quixote, Lisboa. 2003.
- [15]. Claudia, Country Stories :: Ai Porto, Porto 2014 23.
- [16]. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Argamassa>.
- [17]. R. Oliveira, P.H., et al., Flambagem em Pilares. 2009.
- [18]. https://issuu.com/rothoblaas/docs/plates-and-connectors-for-wood-pt__?e=18207635/32848463